

УДК 533.6.011.6+634.0.431

А.М. Гришин, П.В. Пугачева**АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ И СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ
НА ГОРОДА И ПОСЕЛКИ И НОВАЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННО-
ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ
В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ**

Дан краткий анализ действия природных (лесных и степных) пожаров на города и поселки и обзор математических моделей этих пожаров. Предложена новая детерминированно-вероятностная модель прогноза возникновения пожаров в городах и поселках в результате воздействия природных пожаров.

Ключевые слова: *природные пожары, последствия природных пожаров, физическое и математическое моделирование действия природных пожаров.*

1. О некоторых последствиях природных пожаров в России

Лесные пожары – настоящий бич российских лесов. Ежегодный ущерб от них лесному хозяйству России составляет 3 – 7 млрд руб. [1, 2]. Лесные пожары повреждают или уничтожают деревья и пагубно влияют на другую растительность.

Пожары могут вызвать возгорания зданий в населенных пунктах, деревянных мостов, линий электропередачи и связи на деревянных столбах, складов нефтепродуктов и других сгораемых материалов, а также поражение людей и сельскохозяйственных животных.

Масштаб ущерба, наносимого лесными пожарами, можно проследить на примере Иркутской области [1]. Май 1990 года в Иркутской области выдался засушливым и знойным. Уже к середине месяца температура воздуха в г. Братске достигла отметки в 24 °С, а в городах Иркутске и Ангарске поднялась до 36 °С. Создались реальные условия для возникновения лесных пожаров. К 15 мая на территории только Иркутской области отмечалось свыше 1200 очагов лесных пожаров, охвативших около 200 тыс. га лесной территории, в том числе на площади свыше 33 тыс. га бушевали верховые пожары. Во многих местах пожары вплотную приблизились к населенным пунктам. 16 мая по территории области прошел атмосферный фронт, вызвавший штормовой ветер, достигший в отдельных районах ураганной силы (35 – 40 м/с). В 8 городах и 37 населенных пунктах возникли массовые пожары, причинами которых послужили падения опор линий электропередачи, короткое замыкание на электросетях, распространение огня с горящего леса, кустарников и горящих отвалов опилок на лесопильных объектах.

В результате перехода лесных пожаров на деревянные постройки населенных пунктов в Иркутской области было уничтожено огнем 723 жилых дома, 1123 дачных домика, 6 складов материальных средств, склад горюче-смазочных материалов, 5 магазинов, 3 гаража, 2 детских сада, школа, склад, другие объекты. В результате бедствия погибли 27 человек, в том числе 2 детей. Больше всего погибших оказалось в г. Ангарске – 17 человек. В Ангарске пронесшимся верховым пожаром практически была уничтожена вся зеленая зона, а в Братске огромными усилиями удалось приостановить распространение огня на склад хлора и подготовленные к отправке железнодорожные цистерны с этим очень опасным продуктом.

Серьезный ущерб был нанесен 4 крупным объектам экономики: лесобирже Братского лесоперерабатывающего комбината, производственному объединению «Китойлес», двум деревообрабатывающим комбинатам в г. Ангарске.

Большой урон был нанесен энергетическим системам области. Из-за урагана и пожаров на 6 предприятиях энергосистемы произошло около 200 отключений сетей, линий электропередачи и подстанций с их частичным или полным повреждением. Было выведено из строя 206 км воздушных линий связи и радиофикации, 27 км кабельных линий, 10 усилителей проводного вещания, 3 микротранслятора, сгорели почтовое отделение, автоматическая телефонная станция, около тысячи деревянных опор линий связи.

Значительный ущерб был нанесен сельскому хозяйству. Полностью уничтоженными оказались зерновые культуры на площади 165 тыс. га, посевы рапса – на 1,4 тыс. га, овощные культуры – на 14 тыс. га. Погибло около 300 голов крупного рогатого скота, большое количество овец, свиней, птицы. Огнем были уничтожены жилые, производственные и административные постройки, в том числе 7 летников, 2 конюшни, фуражный склад.

В 1996 году огонь пришел по садоводам Мельничной пади. На борьбу с огнем были брошены все силы пожарных. Но этого явно не хватало. Огненный пал шел сплошной стеной. В один день сгорело 64 дачных домика.

Весной 1997 года лесной пожар уничтожил один из детских лагерей под Усольем-Сибирским.

В 2002 году, в ночь с 15 на 16 мая, в области сгорел населенный пункт Боровое (потеряли жилье 132 человека, всего 47 семей), а 6 июня 2003 года сгорела деревня Солнцепечная.

На сегодняшний день в стране порядка 30 тысяч населенных пунктов потенциально подвержено угрозе лесных пожаров, в этих населенных пунктах к тому же отсутствует добровольная пожарная охрана.

Кроме того, лесные пожары нередко угрожают и промышленным объектам, в особенности – нефтяным и газовым месторождениям, нефте- и газопроводам, расположенным на территориях, где в случае лесного пожара возникает реальная угроза.

Ниже приведены сведения о различных случаях возникновения городских и поселковых пожаров в результате действия лесных пожаров:

31.07.02, Ивановская область. В Кинешемском районе в деревне Галкино (известной по неудачному подземному ядерному взрыву), лесной низовой пожар перекинулся на четыре деревянных дома, к счастью, нежилых. Огонь, силами пожарных и местных жителей, удалось нейтрализовать.

06.06.03, Иркутская область, Иркутский район. Лесной пожар уничтожил заимку Солнцелесная в Иркутском районе Иркутской области. Всего сгорели 11 домов. Из-за сильного ветра огонь от лесного пожара перекинулся на дома, спасти которые не удалось. Пострадавших нет.

20.05.04, Омская область, Тарский район. Тринадцать жилых домов сгорели в результате лесного пожара в таежной деревне Уразай. Огонь «подобрался» к жилью из тайги. Люди не пострадали, однако 12 семей лишились крова и имущества. Сильнейшая жара (35 – 37 °С) стала причиной многочисленных очагов пожара. Полностью сгорела деревня Каргайлы в Тевризском районе.

04.05.06, Хабаровский край. Лесной пожар стал причиной чрезвычайного происшествия в селе Болонь Хабаровского края. Лесной пожар перекинулся на населенный пункт, огонь уничтожил 9 жилых домов и несколько хозяйственных по-

строек. Без крова остались 16 человек, в том числе двое детей. Тушение пожара осложнялось сильным ветром, способствовавшим распространению огня.

15.05.06, *Бурятия*. Существовала реальная угроза перехода лесного пожара на коттеджный поселок Светлый, расположенный на горе в районе ТЭЦ-2 и окруженный лесом сразу с трех сторон. К счастью, огню не удалось преодолеть стометровый рубеж от жилых домов.

21.05.06, *Иркутская область, д. Глинки*. Сгорели 18 жилых домов, пострадавших на пожаре нет, борьбу с огнем вели двадцать пожарных расчетов.

07.10.06, *Читинская область*. В Читинской области ограничено движение поездов по участку Транссибирской магистрали. Составы идут по временной схеме – в обе стороны по одному пути. На железную дорогу перекинулся лесной пожар – загорелось рельсовое полотно с деревянными шпалами.

2. Действие лесных пожаров на г. Лос-Аламос (США)

Одним из самых катастрофических лесных пожаров за последние годы стал пожар Серро Гранде в районе г. Лос-Аламос в мае-июне 2000 г. Данный случай представляет особый интерес, так как в этом городе находится известная во всем мире Лос-Аламосская Национальная лаборатория, объекты которой находились под угрозой бушующей стихии [3 – 5].

Лос-Аламосская лаборатория расположена на плоскогорье, окруженном горными вершинами, покрытыми лесами [3–5]. Это весьма необычная местность, обладающая определенными геологическими особенностями.

Город Лос-Аламос расположен на высоте 7300 футов над уровнем моря. В нем засушливый и горный климатом. В связи с этим, воздух здесь более разряженный, а солнечный свет сильнее, чем на уровне моря. Эта территория оседает ежегодно вниз на 0,457 м. Летняя температура колеблется от 294,8 – 305,4 К днем до 283,1 – 288,7 К ночью; и соответственно от 283,1 – 288,7 К до 260,9 – 266,5 К [3 – 5] зимой.

Пожар Серро Гранде длился месяц – с 13 часов 5.05.2000 до 6.06.2000 г. [3 – 5]. Скорость сначала западного, а потом юго-западного ветра достигала от 16 до 18 м/с, влагосодержание элементов лесных горючих материалов (хвоинки, тонкие веточки и сухая трава) было меньше 10 %, температура воздуха 293 К, а влажность воздуха 23 – 28 %. Местность в районе пожара является гористой, что способствовало быстрому распространению лесных пожаров.

В огне пожара погибли леса на территории 20 000 га. В г. Лос-Аламосе сгорело 500 домов. Были эвакуированы около 30 000 человек – почти все жители этого города. Деятельность Лос-Аламосской национальной лаборатории (LANL) была практически прекращена.

Борьбой с огнем занимались ежедневно 1213 лесных пожарных, 3 – 4 вертолета, 10 – 15 пожарных машин. Убытки от пожара превысили один миллиард долларов.

Если судить по последствиям, то лесной пожар в окрестностях Лос-Аламаса был сложным и включал в себя сильные низовые лесные пожары, павальные верховые и пятнистые пожары. Основная особенность последнего типа лесного пожара – выброс горящих частиц (тонкие веточки, частицы коры) в приземный слой атмосферы. Эти частицы благодаря действию ветра переносятся на значительные расстояния (сотни метров), в результате чего могут образовываться новые очаги как лесных, так и городских пожаров, последствия которых представлены на рис. 1.

Причина пожара – так называемые профилактические выжигания остатков сухой прошлогодней растительности. Эта технология широко используется работ-

никами Федеральной лесной службы США для предотвращения крупных лесных пожаров. Решение об использовании этого технологического приема принимается в США на местном уровне – лицом, которого по номенклатуре специальностей, принятой в России, можно назвать лесничим.

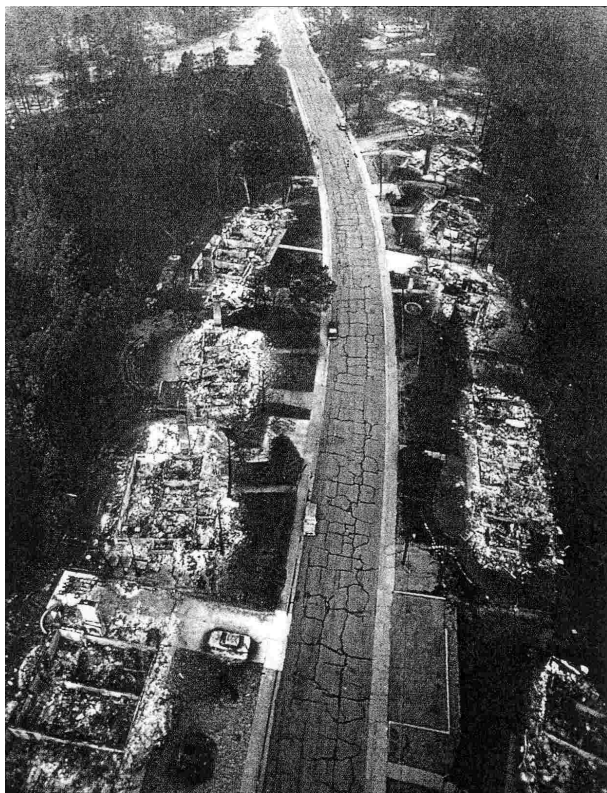


Рис. 1. Последствия городских пожаров в Лос-Аламосе (снимок сделан ночью) [3–5]

На основании анализа последствий этих профилактических выжиганий, можно утверждать, что, по крайней мере, для лесов вблизи потенциально опасных объектов нецелесообразно использовать так называемые профилактические выжигания, так как это может привести к катастрофическим последствиям.

Надо сказать, что скорость распространения верхового фронта лесного пожара и высота факела пламени в значительной мере зависит от скорости ветра и крутизны склона гор, на которых расположены леса. Особенностью такого пожара является то, что в окрестности его фронта возникают мощные восходящие потоки воздуха, способные срывать горящие ветки.

Эти горящие элементы растительности подхватываются ветром и перемещаются на значительные расстояния в направлении скорости ветра и затем в виде губительного «огненного» дождя выпадают впереди фронта пожара.

Таким образом, одним из поражающих факторов павальных лесных пожаров являются горящие элементы растительности. Другими поражающими факторами

являются мощные конвективные и радиационные тепловые потоки, генерируемые фронтом повального верхового пожара.

3. Физическая модель возникновения природных пожаров и их действия на города и поселки

Следует отметить, что при сильном порывистом ветре при лесных пожарах от крон деревьев могут отрываться горящие тонкие охвоенные веточки и образуется своеобразный огненный «дождь». В результате действия горящих частиц могут возникать очаги городских пожаров, которые, в свою очередь, могут генерировать горящие частицы, в результате чего реализуется эстафетный механизм распространения городского или поселкового пожара. Именно такой механизм распространения пожара наблюдался после профилактического выжигания сухой прошлогодней растительности (опада хвойных деревьев и сухой травы) в лесах, окружающих г. Лос-Аламос (США) в мае 2000 г. [3–5].

Общая схема возникновения природных (лесных и степных) и городских пожаров в населенных пунктах дана на рис. 2.

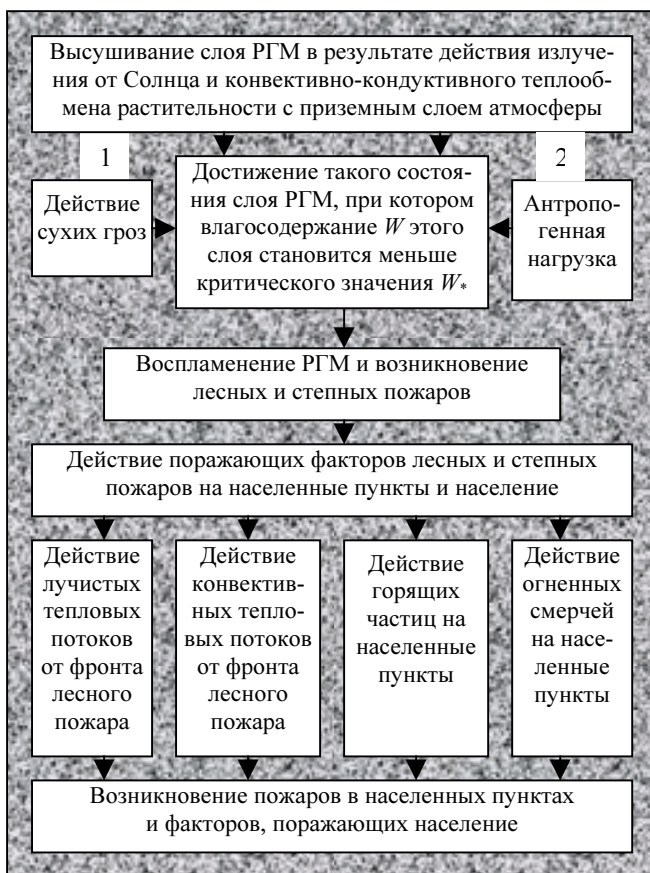


Рис. 2. Схема возникновения лесных, степных пожаров и пожаров в населенных пунктах [6]

Сведения о различных поражающих факторах природных пожаров даны в работах [7, 8]. В результате анализа этих сведений установлены следующие поражающие факторы:

- 1) конвективный тепловой поток от фронта природного пожара;
- 2) лучистый поток от фронта природного пожара;
- 3) действие горящих охвоенных веточек на населенные пункты (огненный дождь);
- 4) действие огненных смерчей на населенные пункты.

Наименее изучен последний поражающий фактор. В частности, представляет интерес условия совместного распространения огненных смерчей, вращающихся в разные стороны.

Затем следует исследовать область данных, необходимых для разработки математической модели, описывающей распространение пожара в зоне застройки, где расположены не только здания и сооружения, но и лесные горючие материалы – деревья, кустарники и растительная подстилка [9].

Основным параметром, характеризующим местность, от которого зависит пожар, является количество горючего вещества, находящегося на данной территории. В особенности следует отметить, что потенциальная энергия горючего вещества, приходящаяся на единицу площади, служит мерой, с помощью которой можно провести непосредственное сравнение между горючими веществами в условиях лесной зоны и территорией с расположенными на ней зданиями и сооружениями.

В пригороде и в зоне городской застройки ключевой количественной характеристикой при определении горючей загрузки и поведения пожара является плотность зданий и сооружений, а также наличие горючих материалов в этих зданиях. Плотность деревьев, кустарников и напочвенного покрова (газонов) может также иметь значение при определении поведения пожара, но очевидно, что плотность застройки является решающей характеристикой.

Вопросы, связанные с лесными и смешанными пожарами, обсуждаются в восьмой главе книги Чандлера с соавторами [10]. В этой главе сделано несколько очень важных наблюдений. Во-первых, авторы отмечают, что горючая загрузка в зоне застройки во много раз отличается от лесной зоны: «самые тяжелые растительные горючие материалы в лесу, как правило, имеют меньшую плотность, чем самые легкие горючие материалы в зоне застройки». Далее авторы отмечают, что горючие материалы в зданиях состоят из различных горючих веществ, в то время как лесные горючие материалы состоят в основном из целлюлозы. Они также обращают внимание на несколько важных отличий между горением в каком-либо сооружении и горением лесных горючих материалов. Влажность, которая очень важна во время горения, внутри помещений контролируется и поддерживается на определенном уровне, но в лесу определяется параметрами окружающей среды, такими, как солнечное излучение, ветер и осадки. Тепловое излучение от пожара внутри помещения задерживается стенами здания, в то время как тепловое излучение при лесном пожаре уходит в окружающую среду. Аналогично, большая часть конвективного тепла при пожаре в зданиях задерживается внутри помещений, но выбрасывается в атмосферу при лесном пожаре. Кроме того, количество кислорода при пожаре в помещении несколько ограничено и практически бесконечно при лесном пожаре [9].

4. Новая детерминированно-вероятностная модель возникновения пожаров в населенных пунктах в результате действия лесных пожаров

В работах [6, 11] изложена новая детерминированно-вероятностная методика для прогноза возникновения лесных пожаров, основанная на использовании физических моделей этого явления и теории вероятностей.

Для оценки вероятности возникновения пожара в населенных пунктах очевидно необходимо знать вероятность возникновения лесного пожара.

Кроме того, надо знать тип лесного или степного пожара. Наиболее опасными являются верховые лесные пожары, которые при сильном ветре распространяются со столь большой скоростью, что человек не может убежать от фронта верхового лесного пожара.

Анализ данных о возникновении городских пожаров в результате действия на поселки и города природных пожаров показывает, что возможны два механизма возникновения этих пожаров:

- 1) в результате действия сильного природного пожара при одностороннем сильном ветре;
- 2) при действии повального верхового лесного пожара на город, расположенный на горном плато, склоны которого покрыты лесом.

На рис. 3 представлена схема действия поражающих факторов природных пожаров на поселки и города, расположенные на равнине, а на рис. 4 – на плоскогорье.

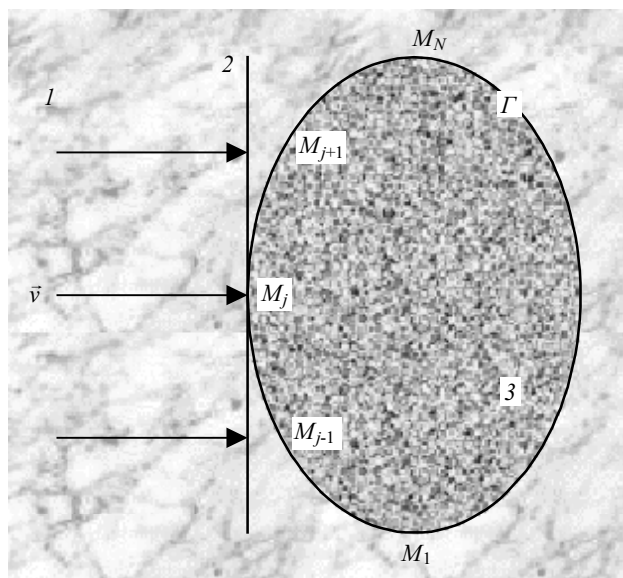


Рис. 3. Схема действия природного пожара на населенный пункт, расположенный на плоской подстилающей поверхности: I – растительный горючий материал; \bar{v} – скорость ветра; 2 – фронт природного пожара; Γ – граница города; $M_1, M_{j-1}, M_j, M_{j+1}, M_N$ – точки на границе города; 3 – территория города

Поскольку скорость ветра имеет определенное направление, то поражающие факторы природного пожара действуют на населенный пункт слева (см. рис. 3), причем, чем больше скорость ветра, тем больше вероятность того, что под действием поражающих факторов природного пожара возникнет городской пожар. Если ветер отсутствует, то природный пожар распространяется с незначительной скоростью и, как правило, пожарные успевают потушить его прежде, чем он перейдет в городской пожар.

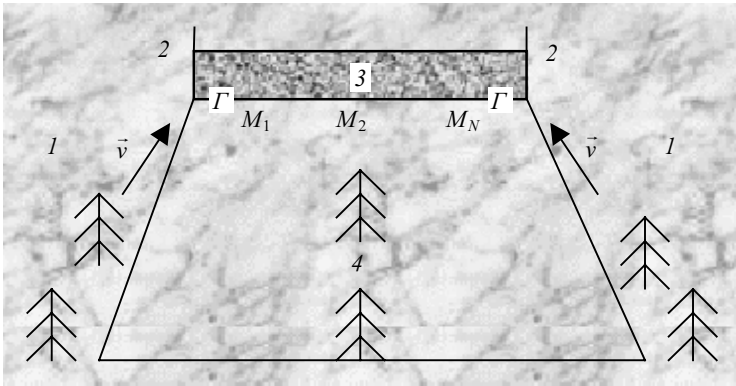


Рис. 4. Схема действия природного пожара на населенный пункт, расположенный на плоскогорье: 1 – РГМ (лес и степь); \vec{v} – скорость ветра; 2 – фронт природного пожара на границе города; Г – граница города; 4 – плоскогорье, покрытое лесом

В том случае, если населенный пункт расположен на плоскогорье, покрытом лесом, то пожар в нем может возникнуть даже в отсутствие обычного ветра, так как горячие газообразные и дисперсные продукты горения растительных горючих материалов всплывают вверх под действием свободной конвекции и поджигают деревянные дома в этом населенном пункте. Примером такого случая, как уже отмечено, может служить пожар в г. Лос-Аламос (США) в мае 2002 г. [3 – 5].

Для оценки вероятности возникновения природных пожаров в работах [6, 11] предложена формула

$$P_{ij}(\text{ПП}) = \sum_{i=1}^N [P_{ij}(A)P_{ij}(\text{ПП}/A) + P_{ij}(M)P_{ij}(\text{ПП}/M)]P_{ij}(C); \quad (1)$$

$$P_{ij}(C) = \begin{cases} 0 & \text{при } W_{ij} > W_{*i}, \\ \frac{F_i}{F} \left(1 - \frac{W_{ij}}{W_{*i}}\right)^n & \text{при } 0 < W_{ij} \leq W_{*i}. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $P_{ij}(\text{ПП})$ – вероятность возникновения природного пожара на i -й контролируемой территории [6, 11], покрытой РГМ; $P_{ij}(A)$ – вероятность антропогенной нагрузки; $P_{ij}(\text{ПП}/A)$ – вероятность возникновения природного пожара вследствие антропогенной нагрузки на площади F_i ; $P_{ij}(M)$ – вероятность возникновения сухих гроз на площади F_i ; $P_{ij}(\text{ПП}/M)$ – вероятность возникновения природного пожара

от молнии при условии, что сухие грозы могут иметь место на площади F_i ; $P_{ij}(C)$ – вероятность того, что влагосодержание слоя РГМ будет меньше критического (вероятность возникновения пожара по метеоусловиям); F – общая площадь растительности; F_i – площадь отдельного выдела этой растительности; W_{ij} – влагосодержание для j -го временного интервала на i -м выделе максимального по массовой концентрации ОПГ; W_{*i} – критическое влагосодержание на i -м выделе максимального по массовой концентрации ОПГ.

Эта формула проверена путем ретроспективного анализа числа лесных пожаров, которые имели место в Тимирязевском лесхозе Томской области [11].

Представляет интерес вероятность пожара в населенном пункте, расположенном в лесу или степи. Для этого разбиваем границу города на отдельные участки, как это сделано на рис. 4. На основе использования метеоданных определяем направление и величину скорости ветра, а также температуру газообразных и дисперсных частиц.

Пусть господствующее направление ветра в точке контура города M_j известно по величине и направлению. Тогда, используя методику, представленную в работах [6, 11], получим для определения вероятности возникновения пожара в момент времени t_j на i -й контролируемой территории населенного пункта следующую формулу для определения вероятности:

$$P_j = \sum_{i=1}^N P_{ij}(\text{ПП}) [P_{j1} + P_{j2} + P_{j3} + P_{j4}] = \sum_{i=1}^N P_{ij}(\text{ПП}) \sum_{k=1}^4 P_{jk} . \quad (3)$$

Здесь P_j – вероятность возникновения пожара на окраине населенного пункта в j -й момент времени; $P_{ij}(\text{ПП})$ – вероятность возникновения природного пожара, определяемая формулой (1); P_{jk} – вероятности зажигания поселковых или городских строений в результате действия на них поражающих факторов лесных пожаров ($k = 1, 2$ соответствует зажиганию от лучистого и конвективного тепловых потоков, генерированных природным пожаром; $k = 3$ – зажиганию строений от горящих частиц, возникающих при природных пожарах, а $k = 4$ – зажиганию в результате действия огненных смерчей).

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
2. Потапова Т.В. Лесные пожары в России // В мире науки. 2003. № 3. С. 76 – 77.
3. *Visitor's Guide* Los Alamos National Laboratory. Los Alamos, New Mexico: LANL. Revised July 1996.
4. *LOS ALAMOS beginning of an era 1943 – 1945*. Los Alamos, New Mexico: Los Alamos Historical Society. Fifth printing 1997.
5. *Octavio Ramos, Jr. Chris Pearly, et al. Cerro Grande canyons of fire, Spirit of community*. Prepared by Los Alamos National laboratory, 2001. 188 p.
6. Гришин А.М., Пугачева П.В. Анализ действия лесного пожара на город Лос-Аламос и новая детерминированно-вероятностная модель прогноза пожарной опасности в поселках и городах // Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии: Избранные доклады 7-й Международной научной конференции. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. С. 107 – 120.
7. Бурасов Д.М., Гришин А.М. Математическое моделирование лесных и степных пожаров. Кемерово: Практика, 2006. 134 с.
8. Валендик Э.Н., Сухинин А.И., Косов И.В. Влияние низовых пожаров на устойчивость хвойных пород леса. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2006.

9. *Rehm R.G., Hamins A., Baum H.R. et al.* Community-scale fire spread // Proceed. of the California's 2001 Wildfire Conference: 10 Years After the 1991 East Bay Hills Fire, 10 – 12 October 2001, Oakland California Technical Report 35.01.462. Richmond CA; University of California Forest Products Laboratory. P. 126 – 139.
10. *Chandler C., Cheney P., Thomas P., et al.* Fire in Forestry. Volume I. Forest Fire Behavior and Effects. N.Y.: Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, 1983.
11. *Гришин А.М., Фильков А.И.* Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров. Кемерово: Практика, 2005. 201 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

ГРИШИН Анатолий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой физической и вычислительной механики Томского государственного университета. E-mail: fire@mail.tsu.ru

ПУГАЧЕВА Полина Викторовна, аспирантка кафедры физической и вычислительной механики механико-математического факультета Томского государственного университета. E-mail: nightmew@mail.ru

Статья принята в печать 26.05.2009 г.