

УДК 630:628.74+ 504.2:614.84 + 614.84

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Н.В. Негуторов, В.М. Галеев

В работе говорится об особенностях математического моделирования лесных пожаров, а также о влиянии лесных пожаров на окружающую среду. Говорится о специфике моделирования, об уровнях моделей, классификации моделей, о проблемах, связанных с моделированием лесных пожаров.

Ключевые слова: моделирование, лесной пожар, классификация моделей лесных пожаров, оперативные, тактические и стратегические модели лесных пожаров, зона пожара, лесные горячие материалы.

В связи с глобальным изменением климата становится все более актуальным сохранение лесов на Земле, как регуляторов балансовых соотношений газов и влаги в атмосфере, необходимых для жизни. Наряду с вырубкой существенный ущерб лесным массивам наносят пожары. В зонах развития крупных лесных пожаров (ЛП) происходит заметное уменьшение количества кислорода в атмосфере и выброс газообразных продуктов горения, прежде всего дымовых аэрозолей и углекислого газа CO_2 . Вместе с тем, ЛП являются необходимым природным фактором обновления и сохранения экологического равновесия лесов [1].

Вследствие значительной удаленности большинства обширных лесных территорий от населенных пунктов и дорог, недостатка современных средств предотвращения и ликвидации пожаров, проблема борьбы с ЛП в России стоит особенно остро. В пожароопасный сезон на территории страны ежедневно возникают множество очагов ЛП, многие из которых являются недоступными для тушения.

Для определения эффективных сценариев реагирования на ЛП недостаточно осуществлять мониторинг чрезвычайной ситуации, необходимо прогнозировать пространственно-временную динамику её дальнейшего изменения. В связи с развитием современной аппаратной и логической базы расчетных экспериментов, наиболее эффективное прогнозирование развития ЛП может быть достигнуто с помощью методов математического моделирования. Математическое моделирование ЛП формируется на стыке нескольких основополагающих наук. Математические модели ЛП строятся на основе знаний о лесе, законов механики, физики и химии реагирующих сред, а также имеющихся экспериментальных данных и результатах практических исследований ЛП [2, 3].

Рассмотрение проблемы математического моделирования ЛП обычно начинается с модельного описания зоны пожара. В качестве таковой пони-

мается часть природной среды, внутри которой термодинамические параметры отличаются от равновесных значений вследствие изменения температуры, давления и состава окружающей среды при физико-химических превращениях в зоне фронта пожара. Параметры модельных расчетов ЛП для конкретных условий в значительной степени определяются погодными условиями и типом растительности [4].

Лесной пожар представляет собой явление неуправляемого многостадийного горения различных лесных горючих материалов (ЛГМ), которое может происходить одновременно на нескольких уровнях леса. При моделировании ЛП лес рассматривается как естественная стратифицированная, многоярусная система. Каждый выделенный ярус леса представляет собой слой с близкими геометрическими параметрами (высотой и типом деревьев, плотностью кроны, наличием сухостоя и т.д.), состоящий из органического вещества – лесных горючих материалов с близкими физико-химическими свойствами (плотностью, влагосодержанием, горючестью и др.).

Специфика моделирования развитых ЛП состоит в рассмотрении системы усредненных уравнений газовой динамики и уравнений, описывающих изменение объемных долей компонентов твердой фазы и изменение температуры твердой фазы, вместе с балансными соотношениями, характеризующими тепло-, влаго-, энерго- и массообмен между средами, контактирующими при горении. При расчетах системы уравнений учитываются скорости химических реакций, а также потоки через верхнюю границу слоя ЛГМ. Уравнения решаются при заданных начальных и граничных условиях, поэтому скорость распространения ЛП оказывается зависящей от атмосферных условий (скорости и направления приземного ветра) и свойств лесного полога (плотность древесных пород и расстояние между деревьями, уровень увлажнения).

На стадии развитого ЛП задача моделирования ставится как задача определения скорости распространения фронта пожара с учетом турбулентного и конвективного переноса тепла, влаги, а также образования и трансформации частиц дымового аэрозоля в пограничном слое атмосферы [5].

В зависимости от целей моделирования и уровня принимаемых практических решений можно выделить три уровня моделей ЛП: оперативные, тактические и стратегические [7].

На оперативном уровне производится достаточно подробное вычисление теплофизических параметров ЛГМ, как правило, одного крупного пожара на основе уравнения теплообмена и массообмена при горении растительных материалов в пологе леса. Оперативные модели требуют численного решения систем дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими начальными и граничными условиями, вид которых зависит от конкретной задачи. Для получения дискретных аналогов

используются численные методы (например, итерационно-интерполяционный, дифференциально-разностный, контрольного объёма и т.д.). В результате получаются сложные системы алгебраических уравнений, решаемые точными, а чаще всего приближёнными методами. Для ускорения этих расчётов целесообразно использовать технологии высокопроизводительных параллельных систем.

При моделировании на тактическом уровне ЛП одновременно рассматривается распространение множества пожаров, возникших в определённом регионе. При этом используются менее подробные модели, описывающие в основном конфигурацию пожаров и их пространственную динамику. В таких задачах параллелизм возникает естественным образом – путём геометрической декомпозиции, т.е. разбиения территории на участки, где действует не более одного пожара, а расчётные алгоритмы идентичны для всех участков.

Стратегические модели рассматривают отдельный ЛП как событие в глобальной системе экологического мониторинга в совокупности со многими другими факторами.

Согласно [8], все математические модели ЛП классифицируются по различным критериям:

1) по выходным данным моделируемых характеристик:

- модели прогноза скорости распространения ЛП;
- модели прогноза контуров ЛП;
- общие математические модели, в рамках которых могут быть предсказаны все характеристики (скорость распространения, контур ЛП, поля температур, концентраций компонентов и скоростей) во фронте и в зоне ЛП;

2) по применяемому математическому методу:

- детерминированные модели. Применяют, как правило, дифференциальные и интегральные уравнения, описывающие аэротермохимический процесс, происходящий в пористой многокомпонентной среде, с соответствующими краевыми и начальными условиями;

- вероятностно-статистические модели, в которых используется теоретико-вероятностный подход, вычисление усредненного положения кромки ЛП для последовательных интервалов времени. Такие модели описывают распространение ЛП как процесс просачивания субстанции через пористую среду (перколяционные модели);

- эвристические, куда относят, например, имитационные модели; модели, основанные на теории клеточных автоматов, и другие;

3) по времени заблаговременности прогностических моделей ЛП:

- краткосрочный прогноз ЛП с заблаговременностью несколько часов;
- среднесрочный прогноз пожарной опасности;

- долгосрочный прогноз пожарной опасности с заблаговременностью несколько месяцев;
- сверхдолгосрочный прогноз сроков наступления катастрофических (массовых) ЛП с заблаговременностью несколько десятков лет;
- отдельную группу составляют модели, использующие теорию подобию физических процессов, для проведения, в основном, лабораторных экспериментов.

Лесные пожары являются достаточно продолжительными физико-химическими процессами, происходящими на больших площадях. Ввиду сложности расчета таких процессов, задачи математического моделирования ЛП требуют серьезных вычислительных ресурсов. Одним из способов снижения сложности расчетов является использование кластерных вычислительных систем. Наиболее общим подходом равномерного распределения вычислительной нагрузки между процессорами при решении задач динамики ЛП является разделение вычислительной области (карты лесной территории) на подобласти, количество которых совпадает с числом используемых процессоров, т.е. использование принципа геометрической декомпозиции [7].

Считается, что разработка математических моделей развития лесных пожаров может способствовать более точному предсказанию их поведения во времени и в лесном пространстве, что позволяет более эффективно бороться с распространением огня по лесным площадям. Однако несовершенство известных моделей ЛП ограничивает возможности развития вариантов практического применения математических моделей. Другой трудностью при разработке и применении моделей ЛП является недостаточность информационного обеспечения. В частности, отсутствуют достоверные данные о характеристиках горючих материалов, проявляемых в процессе горения, а также данные о погоде, топографии местности и о других параметрах, определяющих развитие ЛП.

Заключение

Моделирование лесного пожара представляет собой сложную задачу описания распространения фронта пожара от источника его возникновения до крупномасштабного огненного шторма в зависимости от физико-химических параметров лесных горючих материалов, параметров ландшафта и состояния приземной атмосферы.

В связи со сложностью задачи современные возможности математического моделирования ЛП не позволяют адекватно решать все вопросы, связанные с их возникновением и распространением. Вместе с тем, использование методов моделирования позволяет лучше понять проблему лесных пожаров в целом и успешно решать отдельные вопросы, связанные с лесными пожарами.

Библиографический список

1. Воробьев, Ю. Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312с.
2. Кулешов, А.А. Математические модели лесных пожаров / А.А. Кулешов // Матем. Моделирование. – 2002. – Т. 14. – № 11. – С. 33–42.
3. Вдовенко, М.С. Параллельные алгоритмы моделирования процессов распространения лесных пожаров на основе математических моделей различных типов / М.С. Вдовенко, Г.А. Доррер, П.С. Шаталов // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – № 1.
4. Гришин, А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А.М. Гришин. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1992. – 404 с.
5. Козодеров, В.В. Моделирование лесных пожаров и наблюдение разных стадий их развития по данным гиперспектрального аэрокосмического зондирования / В.В. Козодеров, А.А. Кулешов // Исследование Земли из космоса. – 2012. – № 1. – С. 29–39.
6. Доррер, Г.А. Динамика лесных пожаров / Г.А. Доррер. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 400 с.
7. Доррер, Г.А. Модель распространения фронта лесного пожара, Теплофизика лесных пожаров / Г.А. Доррер. – Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1984. – С. 86–98.
8. Цой, О.М. Математическое моделирование чрезвычайных ситуаций природного характера на юге Дальнего Востока / О.М. Цой; под науч. ред. д-ра физ.-мат. наук И.В. Тросникова (Гидрометцентр России); МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012. – 192 с.

[К содержанию](#)