

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРОВ

Анисимов С.Ф., студент,
Бигаева Л.А., к.ф.-м.н., доцент,
Бирский филиал УУНиТ, г. Бирск, Россия

Аннотация. Статья посвящена математическому моделированию распространения пожаров, которое играет важную роль в прогнозировании их поведения, оценке рисков и разработке стратегий тушения. Рассматриваются ключевые уравнения, описывающие процессы теплопередачи, движения воздуха и химических реакций горения.

Ключевые слова: Математическое моделирование, пожары, теплопередача, уравнения Навье-Стокса, химические реакции горения, прогнозирование, оценка риска, стратегия тушения.

Пожары являются одной из основных угроз для жизни и имущества человека, а также для экосистем. Чтобы эффективно бороться с ними, важно понимать механизмы распространения огня, взаимодействия между различными факторами и последствия этих процессов. Математическое моделирование играет ключевую роль в изучении динамики пожаров, позволяя прогнозировать их поведение, оценивать риски и разрабатывать стратегии тушения.

Математическая модель представляет собой систему уравнений, которая описывает физические процессы, связанные с распространением огня. Она включает такие параметры, как температура, концентрация кислорода, скорость ветра, влажность и т.д. Основной задачей моделирования является создание точной картины развития пожара в пространстве и времени.[2]

Одним из ключевых аспектов моделирования пожаров является учет теплопередачи. Процесс передачи тепла может быть описан уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \Delta^2 T + Q,$$

где T-температура, α -коэффициент теплопроводности, Δ^2 -оператор Лапласа, Q-источник теплоты.

Это уравнение описывает изменение температуры во времени и пространстве под воздействием теплопроводности и источников теплоты.

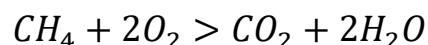
Для учета влияния воздушных потоков на распространение огня применяются уравнения Навье-Стокса:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + (u \Delta) u \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 + \rho g,$$

Где ρ -плотность газа, u - вектор скорости потока, p -давление, μ - динамическая вязкость, g - ускорение свободного падения.

Эти уравнения описывают движение жидкости (в данном случае воздуха) и включают эффекты давления, вязкости и гравитации.[1]

Горение - это сложный химический процесс, который можно описать системой химических реакций. Например, реакция сгорания метана:



Моделирование химических реакций требует учета концентрации реагентов, температуры и других параметров.

Конвекция — это передача тепла за счет перемещения вещества. Она описывается уравнением конвекции:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \nabla c = D \nabla^2 c + S,$$

Где c -концентрация вещества, D -коэффициент диффузии, S -источник вещества.

Этот уравнение описывает изменение концентрации вещества во времени и пространстве под влиянием конвекционного переноса и диффузии.

Для прогноза распространения лесного пожара можно использовать модель, основанную на уравнении теплопроводности и уравнении Навье-Стокса. Модель учитывает тип растительности, влажность почвы, скорость и направление ветра. Пример такой модели представлен ниже:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \Delta^2 T + Q + \beta(T - T_0),$$

где β - коэффициент теплообмена с окружающей средой, T_0 - температура окружающей среды.

Эта модель позволяет предсказать скорость распространения огня и направление его движения, что критически важно для организации противопожарных мероприятий.

При оценке риска возгорания здания учитываются такие факторы, как материал стен, наличие огнезащитных покрытий, вентиляция и т.д. Модель может включать уравнения теплопроводности и химические реакции горения:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = kA(T_j - T) + Q,$$

где k - коэффициент теплопередачи, A - площадь поверхности, T_j - температура пламени, Q — тепловая мощность источника.

Эта модель позволяет оценить вероятность возгорания и скорость распространения огня внутри здания.

Математическое моделирование также используется для оптимизации стратегий тушения пожаров. Например, можно смоделировать эффективность различных методов тушения (водяные струи, пена, порошки) и выбрать оптимальный способ борьбы с огнем:

$$\frac{dm}{dt} = -km,$$

где m - масса горючего материала, k - константа скорости тушения.

Эта модель показывает, как быстро уменьшается масса горючего материала под действием выбранного метода тушения.

Математическое моделирование пожаров является мощным инструментом для понимания и прогнозирования поведения огня. Оно

позволяет ученым и специалистам разрабатывать эффективные стратегии предотвращения и тушения пожаров, минимизируя риск для жизни и имущества. Использование современных компьютерных технологий делает возможным создание все более точных и детализированных моделей, что способствует дальнейшему развитию этой области знаний.

Литература

1. Математическое моделирование природных систем/ Академия наук СССР. Дальневосточный научный центр. Тихоокеанский институт географии; ред.: Е.В. Золотов, Б.И. Семкин. – Владивосток: Дальневосточный научный центр АН СССР, 1981. – 154 с.

2. Долгодворов, Н.Д., Худякова, С.А. Виды математического моделирования распространения пожара в природных условиях / Н.Д. Долгодворов, С.А. Худякова // Инновации. Наука. Образование. – 2023. – № 82. – С. 136–145.