

Авторы статьи:

Игнатова
Алла Юрьевна
- канд.биол. наук, ст. преп.
каф. химической технологии
и экологии

Чередников
Эдуард Александрович
- ст. преп. каф. экологии и рационального природопользования Кемеровского регионального института повышения квалификации

Чурина
Надежда Леонидовна
- зав. каф. экологии и рационального природопользования Кемеровского регионального института повышения квалификации

УДК 622.826.2

Т.А. Балашова, Г.В. Кроль, С.Н. Ливинская

ОЦЕНКА КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ИЗОЛЯЦИЕЙ ИНЕРТНЫМИ ПОРОДАМИ

При тушении пожаров на отвалах используют объемные способы тушения.

Для охлаждения и изоляции поверхности при оценке теплового поля в массиве используют математическое и физическое моделирования. Полное моделирование исследуемых процессов практически невозможно из-за трудностей, возникающих при произвольном изменении задаваемых параметров.

В современной теории теплопроводности основным соотношением является уравнение теплового баланса, которое является частным случаем фундаментального физического закона – закона сохранения энергии – и количественно описывает распределение образующегося тепла между участвующими в процессе телами. Анализ используемых для исследования процессов теплопередачи математических моделей показал, что в основе всех моделей лежат уравнения, описывающие перенос тепла за счет теплопроводности и конвекции. Приходную часть уравнения теплового баланса составляет генерация тепла за счет окисления. Это тепло расходуется на нагревание материала и воздуха, протекающего через него, а также на отдачу в окружающее пространство. Кроме того, в частных случаях могут быть еще и другие виды расхода тепла, например, испарение воды, теплоотдача с открытых поверхностей и т.д. Чтобы рассчитать тепловой

баланс, надо выразить его составляющие через такие физические величины, которые в действительности могут быть измерены.

Отдача тепла путем теплопроводности, в общем случае, определяется уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T,$$

где λ – теплопроводность материала,

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

— оператор Лапласа.

Значение коэффициента теплопроводности λ зависит от вида вещества или материала, температуры и влажности тел, а для анизотропных материалов – также от направления теплового потока. Для большинства веществ и материалов λ увеличивается с увеличением температуры тела. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры выражают уравнением

$$\lambda_t = \lambda_0 \pm \beta t,$$

где λ_t – коэффициент теплопроводности при средней температуре тела t ; λ_0 – коэффициент теплопроводности при 0°C ; β – опытный коэффициент, показывающий, на какую величину возрастает или убывает λ с увеличением температуры тела на 1°C . Влажные материалы имеют больший коэффициент теплопроводности, чем сухие. Это объясняется тем, что во влаж-

ных материалах воздух в порах частично замещается влагой, которая имеет больший коэффициент теплопроводности, чем воздух. Для анизотропных материалов λ зависит от направления распространения тепла.

В дисперсных средах, в роли которых выступают многие горные породы, факторами, определяющими их теплопроводность, кроме свойства твердого скелета являются теплоизолирующие особенности межзерновой среды. Кроме того, для этих вещественных компонент (в частности, для воздуха) также характерно значительное увеличение проводимости тепла при увеличении температуры и давления.

Нагревание единицы объема в скоплении материала определяется выражением

$$Q_1 = c\gamma \frac{dT}{dt},$$

где c – теплоемкость материала; γ – его объемный вес; dT/dt – скорость нагревания.

Конвекционный вынос тепла воздухом определяется выражением

$$Q_2 = c_v \gamma' v \frac{dT}{dx},$$

где c_v – теплоемкость воздуха; γ' – плотность воздуха; v – скорость воздушного потока; dT/dx – градиент температуры вдоль воздушного потока.

Для отвалов важна и такая составляющая потеря тепла, которая учитывает соприкосновение с воздушной средой. По-

тери тепла с этих поверхностей определяются выражением

$$Q_3 = \alpha(T - T_0)S,$$

где α — коэффициент теплоотдачи; T — температура поверхности; T_0 — температура окружающей среды; S — размеры поверхности. В действительности же и здесь существуют некоторые трудности. В реальной ситуации тепло отдается через внешнюю поверхность S , а генерация тепла происходит во всем объеме материала V . Поэтому теплоотдача должна определяться соотношением объема к поверхности $V:S$.

В общем случае тепловой баланс для единицы объема определяется выражением:

$$Q = c\gamma \frac{dT}{dt} + c_B\gamma'v \frac{dT}{dx} + \lambda\nabla^2T + Q(n),$$

где $Q(n)$ — прочие параметры, которые могут приобретать значение для частных случаев. Члены этого уравнения выражают мгновенные скорости генерации и распределения образующегося тепла. Решение этого уравнения в общем виде весьма затруднительно, поэтому в целях конкретизации поставленной проблемы решим физическую задачу об остывании одномерного пространства.

При составлении математической модели охлаждения отвального массивы в плоском породном отвале будем учитывать, что высота слоя одновременно отсыпаемой породы значительно меньше ширины (периметра) отвала, и что развитие процесса самонагревания происходит по нормали к его откосу. Поэтому поставленную задачу можно решать в вертикальной плоскости, нормальной откосу отвала. Предположим, что среда, в которой распространяется тепло, однородна, то есть все параметры среды не зависят от координат. Будем считать также, что они не зависят от времени и температуры, то есть являются постоянными. Определим температурное поле

при охлаждении (или нагревании) стенки из однородного материала, ограниченной плоской поверхностью. Задача об остывании полупространства является краевой задачей и решается в рамках теории термодинамики. Предположим, что однородная среда заполняет полупространство, ограниченное плоскостью $x = 0$. В начальный момент времени $t = 0$ температура среды всюду одинакова и равна T_0 . Температуру на поверхности среды будем поддерживать постоянной, равной $T_1 \neq T_0$. Таким образом, в начальный момент на границе среды температура испытывает скачок. Требуется найти распределение температуры $T(x, t)$ в среде во все последующие моменты времени. Теплофизические характеристики материала среды известны.

Направим ось X внутрь среды перпендикулярно к ее границе. Температурное поле будет одномерным. Распределение температуры описывается уравнением теплопроводности, которое в применении к одномерной задаче примет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

где χ — коэффициент температуропроводности среды;

$$\chi = \frac{\lambda}{c\gamma}.$$

Чтобы найти решение этого уравнения, удовлетворяющее начальным и краевым условиям, удобно воспользоваться методом размерности, заключающимся в поиске связи между переменными T , x , t и параметрами T_0 , T_1 , χ . Окончательное решение задачи имеет вид:

$$T = 2 \frac{T_0 - T_1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{\sqrt{\chi t}}} e^{-\xi^2} d\xi + T_1, \quad (2)$$

где

$$\xi = \frac{x}{\sqrt{\chi t}}.$$

Дифференцированием по x

можно получить значение температурного градиента

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_0 - T_1}{\sqrt{\pi\chi t}} e^{-\frac{x^2}{4\chi t}}.$$

В частности, на поверхности среды, то есть при $x = 0$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{T_0 - T_1}{\sqrt{\pi\chi t}},$$

где χ — коэффициент температуропроводности, имеющий для песчаников, например, среднее значение $\sim 10^{-6}$ м²/с.

Для исследования процесса горения отвального массивы необходимо знать распределение скоростей воздуха в отвальной массе, поскольку он является носителем кислорода, а также определяет конвективный вынос тепла.

На практике чаще встречаются процессы нагревания (или охлаждения) тел при переменной температуре окружающей среды, причем последняя может изменяться с постоянной скоростью или по периодическому закону. Возможны и более сложные изменения температуры среды во времени. Всякий процесс нагревания (охлаждения) тела можно разделить на три стадии. Первая стадия охватывает начало процесса, характерной особенностью которого является распространения теплового импульса в пространстве и охват всех новых и новых частиц тела. Скорость изменения температуры в отдельных точках различна и поле температуры зависит, в основном, от начального теплового состояния, которое в общем имеет случайный характер. Это стадия неупорядоченного процесса. Вторая стадия — стадия упорядоченного процесса. По истечении длительного времени (теоретически — бесконечно большого) наступает третья, стационарная стадия, которая характеризуется постоянством распределения температуры во времени. Если во всех точках тела температура одинакова и равна температуре окружающей среды, наступает

тепловое равновесие тела и окружающей среды.

Уравнение (1) учитывает все основные процессы, происходящие в скоплении окисляющейся породной массы, поэтому может быть использовано при определении пожароопасности промышленных породных отвалов с углесодержащими породами.

Проведенные расчеты пока-

зывают, что тушение пожаров путем изоляцией поверхности инертными материалами неэффективно при больших объемах горящей массы, т.к. практически трудно выполнима полная изоляция горящей массы от внешнего кислорода воздуха, а скорость охлаждения массива зависит лишь от теплопроводности пород массива и мало от теплопроводности окружающей

среды. Этот способ можно считать эффективным при тушении небольших объемов горящей массы. Время охлаждения таких массивов можно рассчитать из выражения (2), при этом градиент температуры должен быть определен экспериментально применительно к конкретным условиям.

Авторы статьи:

Балашова
Татьяна Александровна
- канд. техн. наук, доцент
каф. физики

Кроль
Георгий Васильевич
- канд. техн. наук., доцент
каф. аэробиологии, охраны труда
и природы

Ливинская
Светлана Николаевна
- ст. преподаватель каф. аэро-
биологии, охраны труда и приро-
ды