

В. Р. СОБОЛЬ, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой общей и теоретической физики УО “Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка”, г. Минск, Республика Беларусь

П. Н. ГОМАН, старший преподаватель кафедры управления защитой от чрезвычайных ситуаций ГУО “Командно-инженерный институт” МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

УДК 536.331

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА РАДИАЦИОННЫЙ РАЗОГРЕВ НАПОЧВЕННОГО МАТЕРИАЛА ЛЕСА

Процесс распространения фронта температуры в глубь слоя органической среды исследован на примере разогрева зеленого мха при одностороннем воздействии лучистого потока, при котором лицевая, поглощающая энергию поверхность образца формирует температурное поле, перемещающееся к тыльной стороне, контактирующей с подложкой, имеющей температуру окружающей среды. Эксперимент смоделирован на лабораторной установке, предназначенной для испытания строительных материалов на воспламеняемость, с привлечением режима сканирования температуры по глубине пробы. Выявлены закономерности накопления тепловой энергии в слое мха различной плотности и влажности; установлена роль влаги в процессах разогрева и передачи тепла от лицевой грани в глубь материала. Определены временные диапазоны воздействия, предельные уровни поглощаемой энергии, характерные значения влажности и плотности, не приводящие к разогреву среды до критического по воспламенению состояния. Полученные результаты могут быть полезны в области совершенствования профилактических мероприятий по противодействию интенсивным потокам лучистой радиации, включая подавление распространения фронта пламени при пожарах и предотвращение его дистанционного воздействия через заградительные полосы.

Ключевые слова: лучистый тепловой поток; нагрев; влажность; плотность; температурное поле; воспламеняемость; противопожарный барьер.

Введение

Испытания материалов лесной растительности на воспламеняемость, включая напочвенный, склонный к возгоранию слой, свидетельствуют о том, что исходное по плотности и влажности состояние разогреваемой среды неоднозначно влияет на скорость достижения ею критического состояния. Существенно, что сам процесс начального прогрева и подсушивания как наружных, так и внутренних областей пористого материала (каковым и является лесная напочвенная подстилка) протекает неодинаково и зависит от уровня интенсивности поглощаемого им тепла. При изучении указанного явления привлечение только аналитических моделей не позволяет в полной мере восполнить пробел в недостающих данных ввиду сложности математической формализации процесса теплообмена в неоднородной по динамическим параметрам среде, тепловые характеристики которой по мере прогрева изменяются [1–7]. При несомненной важности аналитического метода в плане обобщения и систематизации описания механизмов подсушивания гигроскопических сред приоритетными по достоверности и надежности подходами исследования следует считать методы эксперимента как на местности, так и при

лабораторном моделировании условий прогрева, высушивания и воспламенения, в том числе материалов лесной растительности [8–11].

В работе представлены результаты изучения механизмов формирования температурного поля в слое органического материала на примере зеленого мха при плотности поглощаемой лучистой энергии, отвечающей типичным уровням тепловых нагрузок, создаваемых протяженными источниками радиации от возможных площадей горения, включая лесные пожары низового, верхового и повального типа. Установлены закономерности реагирования увлажненной пористой органической среды на воздействие лучистого потока энергии. Для насаждений хвойной формации с напочвенным покрытием в виде мха, лишайника, опада хвои, листвы, мелких древесных фрагментов, веток и коры выявлены температурно-временные параметры прогревания. Это позволяет выполнять оценку степени эффективности действия противопожарных барьеров в лесу для реальных условий по размерам возгорания характерных ярусов растений, в том числе при напряженной по огневой опасности обстановке — при резком снижении влажности напочвенного покрова в аномально засушливые летние периоды.

Основные исходные данные работы

Как известно, для материалов органической природы, включая древесину и смешанные на ее основе составы из напочвенного материала, быстрота прогрева и последующее приближение к критическому по воспламенению состоянию в значительной степени определяются уровнем содержания влаги, самой плотностью материала и величиной падающего на него потока энергии. С одной стороны, сравнительно высокая теплоемкость воды и родственных систем обуславливает инерционность увлажненных материалов к разогреву в каждой локальной точке за счет большого теплосодержания. С другой стороны, вода является хорошим проводником тепла в сравнении с сухим остатком органических сред и, соответственно, также участвует в процессе передачи и отвода тепловой энергии из области нагрева [12–14]. Из входящих в структуру органических материалов составляющих влага значительно препятствует разогреву среды еще и потому, что скорость обезвоживания в данной точке определяется разностью температур со стороны лицевой и тыльной граней, характеризующей соотношением между поступающей и отводимой энергией через механизмы теплопроводности и конвекции по пустотам и порам. В целом нарастание температуры свыше 100 °С и распространение теплового фронта по объему имеют место после существенного подсушивания материала, скорость которого зависит от интенсивности поступления энергии и характеризуется температурным градиентом между наружными и более глубинными слоями среды. Разность температур на лицевой грани и в объеме определяет степень неравновесности системы, а скорость отвода тепловой энергии наружу зависит от разности температур между тыльной, необлучаемой, поверхностью и окружающей средой.

Аналитическое рассмотрение разогрева при одностороннем радиационном нагреве можно осуществить путем моделирования ситуации с помощью пробной среды, обладающей совокупными свойствами по теплоемкости и теплопроводности, отвечающими реальной гетерогенной системе. Решение задачи аналитически достаточно затруднительно, поскольку по мере высушивания как теплоемкость, так и другие параметры, включая теплопроводность и плотность системы, снижаются. Этот факт следует учитывать в расчете путем самосогласования свойств среды с ее тепловым состоянием при воздействии распространяющейся и накапливающейся энергии. С учетом указанных обстоятельств в качестве первого шага имеет смысл исключить временные и температурные зависимости тепловых параметров и, кроме того, скорректировать расчет по данным эксперимента [15–18].

В работе рассмотрена экспериментальная сторона проблемы разогрева слоя органического материала, в которой все детали воздействия поглощаемого им лучистого потока на состояние среды учитываются автоматически. Параметры среды фиксируются только в исходном состоянии. По мере воздействия потока энергии последующие изменения физических свойств — влажности, плотности, теплопроводности, теплоемкости — проявляют себя в условиях передачи и накопления энергии косвенно и неявно отображаются в результатах измерения распределения температурного поля по образцу. В ходе исследования выявлены закономерности прогрева и температурного распределения по толщине слоя материала; установлена степень влияния тепловых характеристик на температуру в локальных точках, что позволяет оценить быстроту достижения критического состояния материала по воспламенению для условий связи с окружением, близких к реальным.

Постановка задачи, техника эксперимента

В работе экспериментально смоделированы условия воздействия лучистого потока энергии на органическую среду леса на примере зеленого мха. Радиационные тепловые потоки обычно возникают от источников, включая обширные фронты факела пламени в условиях пожара, при этом отнести источники энергии к разряду точечных либо протяженных можно в зависимости от соотношения между размером излучающего фронта и расстоянием до него. Эксперимент выполнен на стандартизированной лабораторной установке, предназначенной для выявления критических параметров строительных материалов по воспламеняемости [19–21]. Установка адаптирована для выявления структуры температурного поля по глубине пробы и включает источник радиации с излучающей панелью в форме усеченного конуса, передвижную платформу для позиционирования тестируемых материалов, систему контроля плотности радиационного потока и регистрации параметров температурного поля в толщине образца диаметром 150 мм. Генерируемый излучателем лучистый поток энергии по своей структуре близок к однородному в пределах экспонируемой площади. Поток падает нормально на исследуемый материал, расположенный внутри тонкостенного кольца из асбеста, размещенного на асбестоцементном листе толщиной 0,01 м (рис. 1).

Для выявления характера распределения температуры T по глубине в образце созданы цилиндрические каналы, в которые установлены термодатчики, подключенные к цифровому вольтметру (рис. 2). Место размещения установки оборудовано защитными экранами во избежание воздействия



Рис. 1. Общий вид лабораторной установки для изучения температурно-временных параметров воздействия лучистого потока энергии на образцы напочвенного материала леса

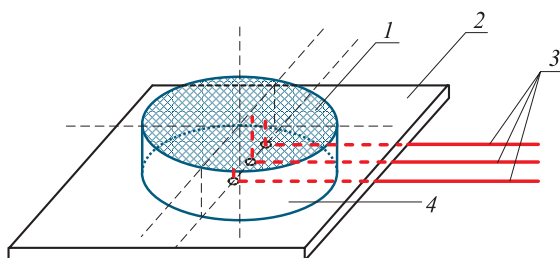


Рис. 2. Принципиальная схема расположения датчиков-термопар в образце при исследовании температурных полей в слое органических материалов: 1 — образец; 2 — асбестоцементный лист; 3 — термопарные датчики; 4 — кольцо из асбеста для расположения образца

паразитных тепловых потоков. По мере экспонирования поглощаемый образцом поток энергии приводит к повышению температуры как исследуемого образца, так и изолирующего кольца с асбестоцементной опорой. Ввиду большой массы и теплоемкости оснастки процесс прогревания держателя достаточно инерционен. В дополнение к этому, контролируя температуру тыльной стороны разогреваемого слоя на поверхности опоры, можно оценить степень паразитной теплоотдачи и ее влияние на состояние образца.

Для напочвенной органической растительности образцы формовали путем наполнения изоляционного асбестового кольца исследуемым материалом до требуемой плотности. Термодатчики были размещены в требуемых точках по глубине вблизи оси вращения. В работе представлены данные по измерениям температуры в трех характерных точках x , где x — расстояние до датчика от лицевой экспонируемой поверхности пластинчатого образца толщиной D (м), имеющего плотность ρ (кг/м³).

Результаты эксперимента

Пространственное распределение зависимости температурного поля T от координаты x в глубину об-

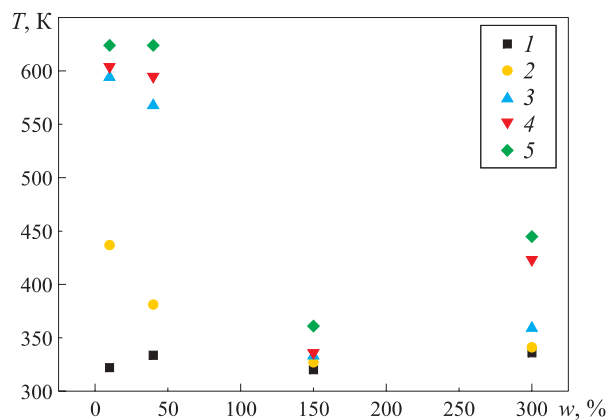


Рис. 3. Влияние влажности мха на формирование температурного поля ($x = 0,015$ м, $D = 0,03$ м, $\rho = 50$ кг/м³) при воздействии лучистого теплового потока плотностью $q = 15$ кВт/м² в момент времени t : 1 — 2 мин; 2 — 4 мин; 3 — 6 мин; 4 — 8 мин; 5 — 10 мин

разца $T(x)$ и его изменение с течением времени $T(t)$, как упомянуто выше, фиксировали по показаниям датчиков-термопар. Естественно, на ближайших к облучаемой поверхности участках обнаружен не только более высокий уровень температуры T , но и более значительный темп накопления тепловой энергии с течением времени t . Следует отметить, что скорость формирования температурного поля по объему существенно зависит от плотности материала ρ через интенсивность концентрирования энергии за счет теплоемкости.

По данным эксперимента (рис. 3) наблюдается немонокотность прироста температуры в функции влажности при экспозиции лучистого потока более 2 мин. При влажности порядка 150 % почти при любом значении времени воздействия излучения наблюдается минимум прогрева образца в точке наблюдения, находящейся в его срединной по глубине части. При низких уровнях влажности быстрота прогрева обеспечивается за счет малой теплоемкости в отсутствие воды; этому же способствует и низкий уровень теплопередачи. При небольшом содержании влаги теплопроводящие свойства ухудшаются за счет возрастания объемной доли пустот и пор в материале, что в некоторой степени схоже с процессом вспучивания защитных составов при их нагревании [22–24]. При значительном увлажнении быстрота прогрева, т. е. возрастание температуры, достаточно ощутима, что можно отнести на счет высокой теплопроводности при сравнительно малом ограничении этого прироста механизмом теплоемкости. Видно, что увеличение температуры при больших уровнях влажности не превышает ее прирост в хорошо подсушенном материале. Свидетельством интенсивного влияния содержания влаги на температурное поле является обильное выделение ее в виде белого пара, что хорошо видно на рис. 1. Уда-

ление влаги из среды в условиях воздействия лучистого потока применительно к лесному материалу происходит по гиперболическому закону во времени, с постепенным изменением темпа снижения массы к асимптотическому значению. Построенные модели коррелируют с данными экспериментов и позволяют оценивать характерные температурно-временные режимы обезвоживания напочвенной среды [4–7].

Распространение тепла через среду в функции ее плотности при заданной влажности отображает явление накопления энергии, которое с течением времени отвечает процессу все большего выравнивания температуры по объему (рис. 4). При малых значениях экспозиции излучения распределение температуры незначительно зависит от плотности среды. С последующим увеличением длительности воздействия потока масштаб прироста температуры становится все больше, и, наконец, при экспозиции более 10 мин наблюдается тенденция к вторичному выравниванию температуры у образцов различной плотности. Иначе говоря, при длительной экспозиции температура поверхности тыльной грани и, следовательно, интенсивность теплоотдачи в окружающую среду у образцов различной плотности становятся одинаковыми. Это означает, что прирост температуры и склонность среды к последующему возгоранию близки и на облучаемой поверхности, и в глубине материала.

Как следует из предыдущих данных, формирование прироста избыточного температурного поля в значительной степени определяется глубиной расположения точки наблюдения (рис. 5). Так, вблизи тыльной грани температура возрастает приблизительно с одинаковым темпом по мере экспозиции в течение 15 мин. Можно отметить, что при интенсивном воздействии тепла, сопровождающемся испарением избыточной влаги, перемещение фронта температуры от лицевой поверхности вглубь замедляется, что, видимо, характерно и для абсорбирующих органических сред [8, 9, 25]. В результате в середине образца и особенно вблизи лицевой поверхности наблюдаются три характерные области в масштабе времени: медленный прирост, быстрое увеличение и, наконец, опять сравнительно слабый прирост температуры. Первый диапазон медленного прироста отвечает подсушиванию образца с выделением влаги в виде белого пара, второй — прогреву обезвоженного остатка с меньшей теплоемкостью, чем обуславливается значительная крутизна характеристики. На последнем этапе происходит расход энергии потока на обугливание и постепенный разогрев продуктов тления. Указанные особенности характерны для точек не только вблизи лицевой поверхности, но и в глубине, только в менее выражен-

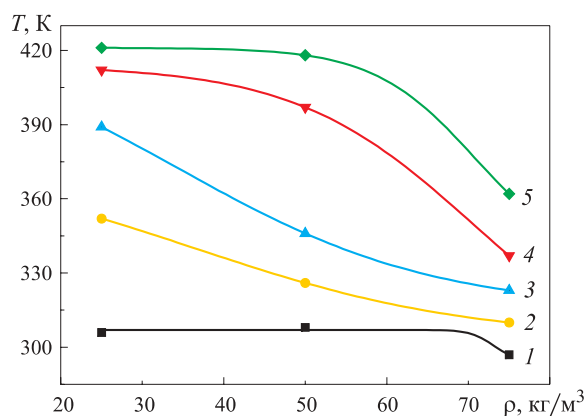


Рис. 4. Температурное поле в образце в функции плотности среды в тыльной области ($x = 0,025$ м, $D = 0,03$ м, $w = 40$ %) при воздействии лучистого теплового потока плотностью $q = 15$ кВт/м² в момент времени t : 1 — 2 мин; 2 — 4 мин; 3 — 6 мин; 4 — 8 мин; 5 — 10 мин; символы — эксперимент, кривые — аппроксимация

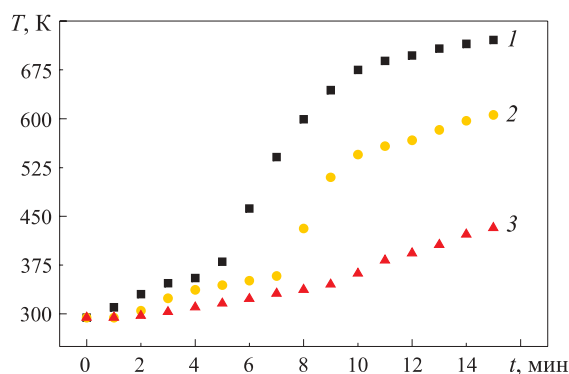


Рис. 5. Временная зависимость температуры для образца ($D = 0,03$ м, $\rho = 75$ кг/м³, $w = 40$ %) при воздействии лучистого теплового потока плотностью 15 кВт/м² для точек наблюдения x : 1 — 0,005 м; 2 — 0,015 м; 3 — 0,025 м

ном режиме. Постепенное повышение температуры в точках вблизи тыльной поверхности отвечает косвенному разогреву этих областей преимущественно за счет теплопроводности, что означает достаточно медленное первичное испарение влаги и прогрев до начала тления. Можно отметить, что тление образцов при влажности 10 % и более и плотности 50 кг/м³ начинается при воздействии лучистого потока плотностью порядка 10 кВт/м² (рис. 6). Установленные параметры теплостойкости отвечают положениям [12, 13].

Вид образцов после длительной экспозиции на рис. 6 свидетельствует о существенной устойчивости зеленого мха с типичным значением плотности и весьма малым содержанием влаги к действию лучистых потоков тепловой радиации плотностью до 15 кВт/м². Для сравнения: древесина средней влажности более устойчива и претерпевает только обугливание при воздействии потока плотностью до 20 кВт/м², что благоприятно с точки зрения проти-



Рис. 6. Общий вид образцов мха ($D = 0,03$ м, $\rho = 50$ кг/м³, $w = 10$ %) (а) после продолжительного теплового воздействия потока плотностью $q = 10$ кВт/м² (образец справа) и 15 кВт/м² (образец слева) в сравнении с образцом древесины сосны ($D = 0,035$ м, $\rho = 560$ кг/м³, $w = 40$ %) при $q = 20$ кВт/м² (б)

воздействия распространению огня между деревянными объектами большой протяженности потенциального источника лучистой радиации за счет его высоты и ширины [12, 13, 16, 21, 26].

Достаточно высокая устойчивость мха к потокам плотностью до 15 кВт/м² косвенно подтверждается данными рис. 7, характеризующими чувствительность среды к действию лучистого потока в срединной по глубине области образца толщиной $0,03$ м при характерных значениях поглощаемой энергии. Так, для верхнего предельного значения плотности потока 15 кВт/м² наблюдается, как и ранее, скачкообразное повышение температуры, что свидетельствует об интенсивном прогреве образца с быстрым высыханием, в то время как при меньшей плотности прирост температуры отвечает комплексному процессу подсыхания и медленного тлеющего выгорания материала. В любом случае достигаемая в опытах температура порядка 300 °С недостаточна для воспламенения среды во всем ее объеме.

Комплексный характер воздействия параметров влажности и плотности на формирование температурного поля иллюстрируется рис. 8. Из рисунка видно, что прирост температуры при низкой влажности и сравнительно высокой плотности среды может

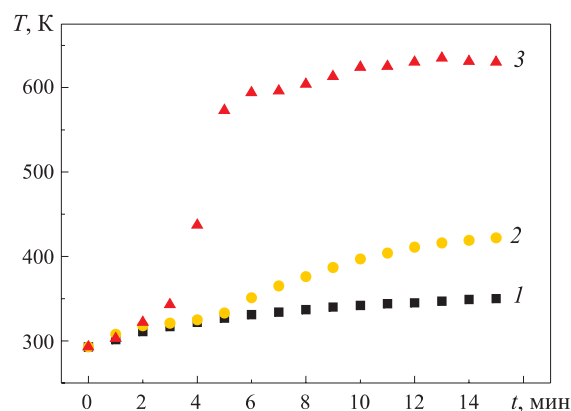


Рис. 7. Температура в функции времени для слоя мха ($D = 0,03$ м, $\rho = 50$ кг/м³, $w = 10$ %) на глубине $0,015$ м в условиях теплового облучения потоком плотностью q : 1 — 5 кВт/м²; 2 — 10 кВт/м²; 3 — 15 кВт/м²

быть эквивалентен по степени прогрева при действии лучистого потока на среду с большей влажностью и меньшей плотностью. Характерно, что средние уровни влажности (10 – 40 %) при низких значениях плотности (25 – 50 кг/м³) отвечают плавному выходу температуры на уровень насыщения без интенсивного испарения влаги, что может быть связано с низкой скоростью поступления энергии за счет малой плотности среды, приводящей к невысокой эффективной теплопроводности.

Полученные закономерности могут быть применены при формулировании принципов, лежащих в основе профилактических мероприятий по предотвращению распространения пожара в лесу. В целом при определении потенциально опасных участков в лесных угодьях с точки зрения наибольшей подверженности их возможному возгоранию и продвижению уже подошедшего фронта пламени следует учитывать несколько факторов, одним из которых является характер ландшафта участка, который способствует реализации критических лучистых потоков тепловой радиации. Плотность потока радиации определяется площадью фронта огня, который, в свою очередь, зависит от мощности напочвенного слоя и его огнетворной способности. Огнетворная способность, кроме того, зависит от состояния среды, включая запас, плотность, количество накопленной влаги, восприимчивость к дистанционному воздействию лучистого потока энергии от подошедшего фронта пламени. Как установлено ранее, мох хотя и в незначительной степени, но все-таки более склонен к воспламенению в сравнении с опадом хвои или листвы, лишайником, мелкими фрагментами древесины при одинаковых условиях по влагосодержанию [12–14, 21]. Соответственно, полученные здесь оценки могут быть привлечены для проведения профилактических мероприятий по огневой защите на любых участках леса хвойной формации.

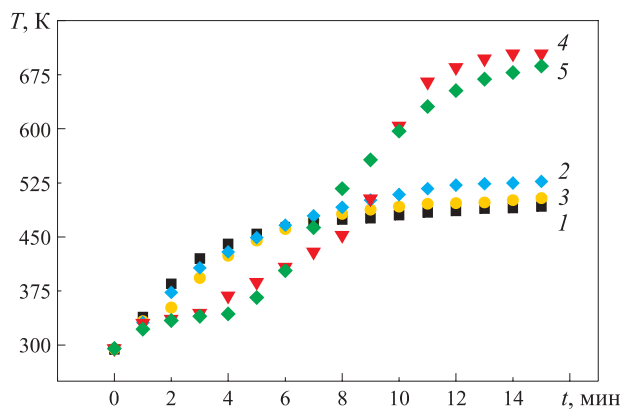


Рис. 8. Влияние влажности 10 % (1, 2) и 40 % (3, 4, 5) и плотности ρ образцов мха на устойчивость к прогреву с течением времени при воздействии потока плотностью 10 кВт/м^2 : 1, 3 — $\rho = 25 \text{ кг/м}^3$; 2, 4 — $\rho = 50 \text{ кг/м}^3$; 5 — $\rho = 75 \text{ кг/м}^3$

В контексте ранее сказанного можно утверждать, что уровни поглощаемой тепловой энергии с плотностью потока порядка $10\text{--}15 \text{ кВт/м}^2$ являются вполне допустимыми с точки зрения длительной устойчивости лесной подстилки, включая мшистые и хвойные покровы, при любых условиях окружающей среды, отвечающих уровням влажности 10 % и выше. Это означает, что при возможных уровнях засушливости очаги пламени с указанной плотностью потока не способны воспламенить напочвенный покров хвойного леса и, таким образом, способствовать распространению пожара.

Для дистанционного воспламенения без воздействия открытого огня требуются радиационные потоки плотностью 20 кВт/м^2 и выше с необходимым временем экспозиции. Указанные уровни плотности лучистого потока, по всей видимости, способны обеспечить ударный кратковременный прогрев с высыханием, достаточным для воспламенения напочвенного слоя хвойного леса и поддержания устойчивого горения. Высказанные предположения по критическому уровню плотности лучистого потока соответствуют нижнему диапазону влажности, т. е. 10–20 %. Естественно предположить, что при влажности 40–60 % плотность лучистого потока 20 кВт/м^2 будет недостаточной для воспламенения мха, лишайника, опада хвои сосны и листвы.

Тем не менее требования к противопожарным нормам следует формировать исходя из полученных значений, а именно включать в предполагаемые опасные зоны именно те области, которые могут быть подвержены воздействию лучистых потоков энергии плотностью 20 кВт/м^2 и выше, поскольку состояние по критическому влагосодержанию 10–20 % может быть достигнуто в условиях жаркого засушливого климата южных регионов страны.

Для эффективного использования установленных норм следует сочетать климатический контроль

окружающей среды по прогнозам синоптиков с контролем состояния противопожарных барьеров и разрывов, которые в наиболее тяжелых условиях противопожарной обстановки должны обеспечивать плотность потоков лучистой энергии не более 15 кВт/м^2 . Для менее критических климатических условий при уровнях влажности 20–40 % целесообразно с экономической и технической точек зрения снижать нормы противопожарной безопасности в пределах разумной достаточности, обеспечивая разрывами и барьерами плотность тепловых потоков до 20 кВт/м^2 .

Выводы

1. Мерой опасности распространения огня в лесной местности при наличии сети противопожарных разрывов и барьеров можно считать потенциальный уровень плотности лучистого потока, создаваемого характерным фронтом пламени, для указанного участка угодий. В зависимости от вида пожара плотность радиационного потока может изменяться в широких пределах — от десятков Вт/м^2 до нескольких десятков кВт/м^2 .

2. При неблагоприятных климатических условиях по уровню засушливости и мощности слоя материала, обеспечивающих интенсивное горение с формированием обширного наземного пожара, противопожарные разрывы и барьеры эффективны при ослаблении экспозиционной плотности лучистого потока до уровня не более 15 кВт/м^2 .

3. Наземные пожары при поглощаемой плотности свыше 20 кВт/м^2 фактически определяют критический уровень воздействия на достаточно подсушенную среду органической природы (мох, лишайник, опад хвои, листвы, мелких древесных фрагментов) влажностью 10–20 %, который требует корректировки в сторону снижения за счет расширения барьеров и разрывов в зависимости от предполагаемых климатических условий в данной местности.

4. Для участков с влажностью 40 % и выше экспозиционные плотности потока $20\text{--}30 \text{ кВт/м}^2$ могут в течение 15–20 мин считаться достаточно безопасными, поскольку вероятность воздействия их в течение более длительного времени при существующих запасах выгораемого материала в лесных массивах чрезвычайно низка для реальных условий.

Работа выполнена в рамках ГПНИ “Функциональные и машиностроительные материалы и технологии” (задание 1.14 “Разработка методов синтеза новых материалов”, раздел “Выявление топологии лучистого потока и его воздействия на окружающую среду применительно к повышению эффективности тепловой зоны реактора при синтезе по методу твердых фаз”), проекта БРФФИ № Ф11М-005 “Аналитическая и численная аппроксимация пространственного распределения и воздействия потоков

лучистой энергии для конечных по размерам протяженных тепловых источников, в том числе фронта пламени плоской и цилиндрической формы” и ГПНИ “Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций. Снижение рисков чрезвычайных ситуаций”, задание 2.1.04 “Разработать и создать макетный образец системы, методiku и программный комплекс для дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров со стационарных пунктов и подвижных носителей”.

чайных ситуаций”, задание 2.1.04 “Разработать и создать макетный образец системы, методiku и программный комплекс для дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров со стационарных пунктов и подвижных носителей”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудобаица С. П. Расчет кинетики сушки дисперсных материалов на основе аналитических методов // ИФЖ. — 2010. — Т. 83, № 4. — С. 705–715.
2. Мошинский А. И. Математическая модель массопереноса в случае бидисперсного пористого материала // ИФЖ. — 2009. — Т. 82, № 2. — С. 258–273.
3. Кудинов В. А., Аверин Б. В., Стефанюк Е. В. Аналитические решения задач теплопроводности с переменным начальным условием на основе определения фронта температурного возмущения // ИФЖ. — 2007. — Т. 80, № 3. — С. 27–36.
4. Хужаеров Б. Х., Махмудов Ж. М., Зирияев Ш. Х. Перенос вещества в пористой среде, насыщенной подвижной и неподвижной жидкостью // ИФЖ. — 2010. — Т. 83, № 2. — С. 248–255.
5. Гришин А. М. Задача о сушке слоя лесных горючих материалов // ИФЖ. — 2003. — Т. 76, № 5. — С. 166–170.
6. Осипов С. Н., Коробко Е. В., Билык В. А. Влияние испарения влаги с нагреваемой поверхности на тепловой режим капиллярно-пористого тела в начальном периоде сушки // ИФЖ. — 2005. — Т. 78, № 2. — С. 76–83.
7. Акулич П. В. Тепломассоперенос в пористых средах при углублении зоны испарения // Весці НАН Беларусі. Сер. фізика-тэхн. навук. — 2006. — № 2. — С. 76–81.
8. Падерин Л. Я. и др. Экспериментальное исследование теплопереноса в пористых полупрозрачных теплозащитных материалах // ИФЖ. — 2005. — Т. 78, № 1. — С. 60–67.
9. Ольшанский А. И., Макаренко Е. Ф., Ольшанский В. И. Некоторые закономерности кинетики влаготеплообмена при сушке влажных материалов // ИФЖ. — 2008. — Т. 81, № 6. — С. 1102–1111.
10. Кошмаров Ю. А., Рубцов В. В. Моделирование процесса выгорания твердых горючих материалов при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 1998. — Т. 7, № 1. — С. 10–18.
11. Валендик Э. Н., Косов И. В. Тепловое излучение лесных пожаров и возможное воздействие его на древостой // Хвойные бореальные зоны. — 2008. — № 1/2. — С. 88–92.
12. Тычино Н. А. Современное состояние проблемы огнезащиты древесных материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2001. — Т. 10, № 2. — С. 6–21.
13. Подгрудный А. В., Гундар С. В. Защита населенных пунктов от лесных пожаров // Вестник Академии ГПС. — 2005. — № 3. — С. 86–98.
14. Гришин А. М. и др. Зажигание лесных горючих материалов потоком лучистой энергии // Физика горения и взрыва. — 2002. — № 1. — С. 30–35.
15. Еналеев Р. Ш. и др. Огнестойкость элементов строительных конструкций при высокоинтенсивном нагреве // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 48–53.
16. Валуев В. Е., Мешик О. П. Современные подходы к оценке температурных воздействий на конструкции зданий и сооружений // Вестник БрГТУ. Сер.: Водохоз. стр-во, теплоэнергетика и геоэкология. — 2010. — № 2. — С. 62–65.
17. Седнев В. А., Лысенко И. А. Вопросы защиты убежищ от теплового воздействия массовых пожаров в военное время // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 1. — С. 30–33.
18. Сучков В. П. и др. Огнестойкость технологических систем // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 4. — С. 38–40.
19. Трушкин Д. В. Развитие методологии испытаний строительных материалов на воспламеняемость и распространение пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 2. — С. 20–30.
20. Бельцова Т. Г., Корольченко О. Н. Показатели воспламеняемости огнезащищенной древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 31–33.

21. Касперов Г. И., Гоман П. Н. Исследование пожароопасных свойств лесных горючих материалов сосновых насаждений // Труды БГТУ. Сер. II: Лесная и деревообработ. пром-ть. — 2010. — Вып. XVIII. — С. 337–340.
22. Корольченко И. А. и др. Изучение условий экспериментального определения температуропроводности материалов // Пожарная безопасность. — 2004. — № 3. — С. 60–63.
23. Соболев В. Р. и др. Тепловые свойства напочвенного материала леса при характерном содержании влаги // ИФЖ. — 2011. — Т. 84, № 5. — С. 1079–1087.
24. Еремينا Т. Ю., Бессонов Н. М., Дьяченко П. В. К вопросу оценки коэффициента эффективной теплопроводности вспученных составов // Пожаровзрывобезопасность. — 2000. — Т. 9, № 5. — С. 13–18.
25. Танашиев Ю. Ю., Пармон В. Н., Аристов Ю. И. Торможение теплового фронта в пористой среде, содержащей испаряющуюся жидкость // ИФЖ. — 2001. — Т. 74, № 5. — С. 3–7.
26. Бородкин А. Н. и др. Модель распространения пожара между деревянными строениями // Пожаровзрывобезопасность. — 1997. — Т. 6, № 1. — С. 36–39.

*Материал поступил в редакцию 8 июня 2012 г.
Электронные адреса авторов: vrsobol@mail.ru; g_pn83@mail.ru.*

ООО "ИЗДАТЕЛЬСТВО "ПОЖНАУКА" ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский

Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено применение требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем совершенствования технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

В качестве приложения в пособие включен СП 12.13.130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Книга рассчитана на сотрудников проектных организаций, промышленных предприятий и складских комплексов, а также работников Государственного пожарного надзора МЧС России, занимающихся вопросами обеспечения пожарной безопасности.

Web-сайт: firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

Тел./факс: (495) 228-09-03