

УДК 622.822.22:536.244:011.103

С. П. ГРЕКОВ, В. П. ОРЛИКОВА, К. В. ГЛУШЕНКО

Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «РЕСПИРАТОР», г. Донецк

ПОЖАРООПАСНОСТЬ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Рассмотрен процесс самонагрева органических материалов растительного происхождения. Предложено использовать математическую модель гетерогенного окисления углей для разработки метода определения параметров пожароопасности органических материалов растительного происхождения. На основании результатов исследования пожароопасности и химической активности угля получено выражение для определения инкубационного периода теплового самовозгорания материалов для случая теплообмена с окружающей средой и минимального скопления растительного сырья, подверженного самовозгоранию. В качестве начальной температуры теплового самонагрева растительного сырья принята температура гибели микрофлоры, равная 343 К. Полученные зависимости рекомендуются для опытно-промышленного использования определения пожароопасности органических материалов растительного происхождения. Расчет показателей пожароопасности и времени самовозгорания органических материалов с учетом заданных условий их размещения обеспечит безопасное хранение материалов.

самовозгорание, органический материал, инкубационный период, показатель пожароопасности

ПРОБЛЕМА И ЕЕ СВЯЗЬ С ВАЖНЫМИ НАУЧНЫМИ И ПРАКТИЧЕСКИМИ ЗАДАЧАМИ

На каждом этапе развития человеческой цивилизации с учетом новейших научных достижений предпринимались попытки решить проблему самовозгорания органических материалов. Для растительного сырья в отличие от других органических материалов самонагревание связано с жизнедеятельностью микроорганизмов, которые находятся в нем. Выделение теплоты в определенной зоне растительной массы, превышающее отвод ее в окружающую среду, с течением времени может превратиться в очаг пожара [1]. Экспериментально показано, что температура в центре влажной массы растительного сырья может достигать 55...65 °С за 3–5 суток [2]. Считают, что максимальная температура, которую могут создать биологические системы, равна 75 °С, а для зерновых культур – (60...65) °С. По другим источникам, наблюдаемый температурный предел биологической активности микроорганизмов составляет (85...88) °С [3]. При такой температуре большинство микроорганизмов гибнет, и дальнейшее повышение температуры происходит уже по механизму теплового самонагрева, т. е. за счет химических реакций окисления вещества. Поэтому представляется интересным использовать результаты изучения теплового самонагрева углей, проводимые в НИИГД «Респиратор», и решение задачи самонагрева органического материала за счет химических реакций окисления его кислорода воздухом [4].

Цель настоящей работы – разработка метода определения пожароопасности органических веществ растительного происхождения на основе математической модели низкотемпературного окисления угля, позволяющего определять группу пожароопасности.

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Окисление и самовозгорание материалов растительного происхождения в отличие от окисления углей заключается в том, что начало этому процессу дает первичное самонагревание материала за счет теплоты, выделяемой микроорганизмами, а вызванное повышение температуры способствует

ускорению экзотермической реакции, которая может закончиться возникновением горения в самой нагретой части объема.

При наличии в сырье живых компонентов растительной массы происходит накопление теплоты за счет их дыхания. При этом наблюдают процесс диссимилиации (разложения) сложных органических веществ до простых с освобождением аккумулированной в них энергии. Этот процесс состоит из дыхания, которое в растительной массе осуществляется с участием кислорода воздуха (аэробно) или может протекать без кислорода (анаэробно), и окисления до диоксида углерода (CO_2) и воды в присутствии кислорода и выделения большого количества теплоты.

Рост температуры, связанный с биологической активностью микрофлоры, определяется разностью между скоростью выделения теплоты и теплопотерями. Наблюдают две стадии жизнедеятельности микробиологических объектов, связанных с потреблением кислорода, выделением диоксида углерода и теплоты в массе растительного материала [3]. В условиях ограниченного теплоотвода и низкой теплопроводности материала выделяемая теплота приводит к повышению температуры, характерной для деятельности микроорганизмов. После гибели микрофлоры температура изменяется незначительно, в этот период наблюдают уменьшение влажности сырья и увеличение сорбционной способности. Дальнейшее поглощение кислорода приводит к увеличению скорости реакции окисления и температуры. Таким образом, за начальную температуру процесса окисления при тепловом самонагревании органического материала растительного происхождения следует принимать 70°C (343 K), т. е. температуру вымирания большинства микроорганизмов. Она наступает через 3...33 суток в зависимости от типа материала, его влажности и условий хранения.

Способность твердых органических материалов к тепловому самовозгоранию определяют кинетика процесса окисления, параметры, характеризующие структуру и теплофизические свойства вещества, а также условия теплообмена между продуктом и окружающей средой. Свойства вещества влияют на его склонность к самовозгоранию и определяют опасность развития процесса самовозгорания. Условия нахождения материала и теплообмена с окружающей средой определяют возможность возникновения пожара, т. е. его пожароопасность.

Одним из показателей пожароопасности является инкубационный период самовозгорания органического материала $t_{\text{инк}}$, расчет которого для случая теплообмена с окружающей средой и комплексного показателя t выполним по формуле [5]

$$t_{\text{инк}}|_{Bi \neq 0} = \frac{\ln \left[-\left(\frac{T_{\text{кр}}}{T_0} - 1 - \frac{1}{b} \right) b \right]}{b} \frac{\rho c_V T_0}{\xi C_{\text{O}_2} q k_{\text{кр}}},$$

$$\left[\frac{\quad}{\bar{t}} \right] \left[B \right]$$

где T_0 и $T_{\text{кр}}$ – начальная и критическая температуры материала, К;

b – критерий скорости нагревания органического материала, равный $b = \frac{3Bi}{\Gamma_T} - 1$;

B_i – критерий теплообмена Био, определяемый из выражения $Bi = \frac{\alpha R_{\text{cp}}}{\lambda}$;

α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

Γ_T – комплексный критерий генерации тепла скоплением органического материала толщиной R_{cp} , равный $\Gamma_T = \frac{1}{B} \frac{R_{\text{cp}}^2}{a}$;

R_{cp} – радиус скопления материала, м;

a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$;

ξ – доля реакционной поверхности, вступающей в реакцию окисления;

C_{O_2} – концентрация кислорода в материале, $\text{моль}/\text{м}^3$;

q – теплота реакции окисления, $\text{Дж}/\text{моль}$;

$k_{\text{кр}}$ – константа скорости окисления, с^{-1} ;

ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c_V – теплоемкость материала при постоянном объеме, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

Полученные значения инкубационного периода характеризуют только стадию теплового самонагревания без учета времени возможного микробиологического процесса, которое в основном

зависит от влажности материала и размера скопления. Например, при лабораторном исследовании сена влажностью 42 % в адиабатическом калориметре повышение температуры до 75 °С, обусловленное развитием микрофлоры, фиксируют на четвертые сутки [6]. После гибели микроорганизмов инкубационный период самовозгорания сена составляет 0,3 суток.

Следует отметить, что влияние размера скопления на определение пожароопасных факторов для органического материала проявляется в большей степени, чем для угля. Поэтому предлагаемый метод расчета правомочен для заданных условий размещения материалов с учетом активного размножения микроорганизмов, приводящего к разогреванию материалов до 343 К.

ВЫВОДЫ

Таким образом, предложен метод определения инкубационного периода самовозгорания и универсальный комплексный показатель пожароопасности для органических материалов растительного происхождения. Полученные зависимости предназначены избежать возможного самовозгорания продукции и практически реализовать безопасные условия хранения материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Откідач, Д. М. Вибухобезпека зберігання та перероблення продукції сільськогосподарського виробництва. Теорія та практика [Текст] / Д. М. Откідач, В. М. Альбоцій. – Київ : УкрНДІПБ МНС України, 2006. – 288 с.
2. Дегтярев, Александр Геннадьевич. Научные основы обнаружения самовозгорания и горения растительного сырья [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.26.03 / Александр Геннадьевич Дегтярев ; «Спецавтоматика». – М., 1998. – 448 с.
3. Bower, P. C. Self-heating evaluating and controlling the hazards [Текст] / P. C. Bower. – London : Department of the Environment, Building Research Establishment, 1984. – 500 p. – ISBN 0-11-671364-X.
4. Пашковский, П. С. Эндогенные пожары в угольных шахтах [Текст] / П. С. Пашковский. – Донецк : Ноулидж, 2013. – 791 с.
5. Греков, С. П. Особенности теплоотдачи при очаговом самонагревании органических материалов [Текст] / С. П. Греков, В. П. Орликова // Уголь Украины. – 2015. – № 6. – С. 40–43.
6. Горшков, В. И. Самовозгорание веществ и материалов [Текст] / В. И. Горшков. – Москва : ВНИИПО, 2003. – 444 с.

Получено 06.04.2016

С. П. ГРЕКОВ, В. П. ОРЛИКОВА, К. В. ГЛУШЕНКО ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКА ОРГАНІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Державний науково-дослідний інститут гірничорятувальної справи, пожежної безпеки та цивільного захисту «РЕСПІРАТОР», м. Донецьк

Розглянуто процес самонагрівання органічних матеріалів рослинного походження. Запропоновано використовувати математичну модель гетерогенного окиснення вугілля для розробки методу визначення параметрів пожежонебезпеки органічних матеріалів рослинного походження. На підставі результатів дослідження пожежонебезпеки та хімічної активності вугілля отримано вираз для визначення інкубаційного періоду теплового самозаймання матеріалів для випадку теплообміну з навколишнім середовищем і мінімального накопичення рослинної сировини, схильної до самозаймання. За початкову температуру теплового самонагрівання рослинної сировини прийнята температура загибелі мікрофлори, що дорівнює 343 К. Отримані залежності рекомендовано для дослідно-промислового використання визначення пожежонебезпеки органічних матеріалів рослинного походження. Розрахунок показника пожежонебезпеки і часу самозаймання органічних матеріалів з урахуванням заданих умов їх розміщення забезпечить безпечно зберігання матеріалів.
самозаймання, органічний матеріал, інкубаційний період, показник пожежонебезпеки

SVYATOSLAV GREKOV, VICTORIA ORLIKOVA, KRISTINA GLUSHENKO
FIRE HAZARD OF PHYTOGENOUS ORGANIC MATERIALS

State Scientific-Research Institute of mine rescue work, fire safety and civil protection
«Respirator», Donetsk

The process of the spontaneous heating of the phytogenous organic materials is considered. It is proposed to use the mathematical model of the heterogeneous oxidation of coals to work out the method of determination of fire hazard parameters of the phytogenous organic materials. On the ground of results of investigation of the fire hazard and chemical activity of coal the expression was received to determine the incubation period of the thermal spontaneous ignition of the materials for the case of heat exchange with the environment and minimum accumulation of the vegetable feed liable to spontaneous combustion. As the initial temperature of the thermal spontaneous heating of the vegetable feed the temperature of the microflora destruction equal to 343 K is accepted. The dependences received are recommended for the experimental-industrial use of determination of the fire hazard of the phytogenous organic materials. The calculation of the fire hazard index and spontaneous ignition time of the organic materials subject to the conditions of their placement given will guarantee the safe storage of the materials.

spontaneous heating, organic material, incubation period, fire hazard index

Греков Святослав Павлович – начальник науково-дослідного відділу боротьби з ендегенними пожежами в шахтах і на породних відвалах Державного науково-дослідного інституту гірничорятувальної справи, пожежної безпеки та цивільного захисту «Респіратор». Наукові інтереси: фахівець в області тепломасопереносу в гірських виробках і пористих середовищах.

Орликова Вікторія Петрівна – науковий співробітник відділу боротьби з ендегенними пожежами в шахтах і на породних відвалах Державного науково-дослідного інституту гірничорятувальної справи, пожежної безпеки та цивільного захисту «Респіратор». Наукові інтереси: вивчення самозаймання вугілля і інших органічних матеріалів.

Глушенко Кристина – інженер 1 категорії відділу боротьби з ендегенними пожежами в шахтах і на породних відвалах Державного науково-дослідного інституту гірничорятувальної справи, пожежної безпеки та цивільного захисту «Респіратор». Наукові інтереси: вивчення самозаймання органічних матеріалів.

Греков Святослав Павлович – начальник научно-исследовательского отдела борьбы с эндогенными пожарами в шахтах и на породных отвалах Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор». Научные интересы: специалист в области тепло-массопереноса в горных выработках и пористых средах.

Орликова Виктория Петровна – научный сотрудник отдела борьбы с эндогенными пожарами в шахтах и на породных отвалах Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор». Научные интересы: изучение самовозгорания угля и других органических материалов.

Глушенко Кристина – инженер 1 категории отдела борьбы с эндогенными пожарами в шахтах и на породных отвалах Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор». Научные интересы: изучение самовозгорания органических материалов.

Grekov Svyatoslav – the Head of the Research Department of struggle with endogenous fires in mines and waste dumps of the State Research Institute of mine rescue work, fire safety and civil protection «Respirator». Scientific interests: a specialist in the field of heat and mass transfer in mines, and porous media.

Orlikova Victoria – researcher at the Department of struggle with endogenous fires in mines and waste dumps of the State Research Institute of mine rescue work, fire safety and civil protection «Respirator». Scientific interests: the study of spontaneous combustion of coal and other organic materials.

Glushenko Kristina – the 1st category Engineer Department of struggle with endogenous fires in mines and waste dumps of the State Research Institute of mine rescue work, fire safety and civil protection «Respirator». Scientific interests: the study of spontaneous combustion of organic materials.