

УДК 614.841

НОВЫЙ ПОДХОД К МЕТОДОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕРМОРАЗРУШЕНИЯ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПОЖАРЕ**Г. Н. Исаков, А. Р. Манаева***Сургутский государственный университет, chem88@yandex.ru*

В работе представлены результаты по определению температуры самовоспламенения ($T_{с.в.}$) процессов терморазложения напольных покрытий, которая является необходимым параметром при построении математической модели терморазрушения. В окрестности этой температуры возможно записать уравнения подобия в аналитическом виде для моделей процессов самовоспламенения. В области $T_{с.в.}$ функциональная связь между обобщенными критериями находится с учетом выполнения условий интегрального подобия [4]. Значения $T_{с.в.}$ используются для описания и управления процессами терморазложения при пожаре через решение системы дифференциальных уравнений [4,6,7].

Ключевые слова: кинетика, модель терморазрушения, дифференциальные уравнения.

A NEW APPROACH TO THE METHODOLOGY OF DETERMINING THE INPUT DATA IN THE CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODEL OF FLOOR COVERINGS THERMAL DECOMPOSITION IN CASE OF FIRE**G. N. Isakov, A. R. Manaeva***Surgut State University, chem88@yandex.ru*

The article presents the results of autoignition temperature ($T_{s.v.}$) determination for processes of thermal decomposition of flooring, which is an essential parameter in the construction of mathematical model of thermal destruction. In the vicinity of this temperature it is possible to write the equations of similarity in analytical form for models of processes of autoignition. In the $T_{s.v.}$ area functional connection between generalized criteria is based on the conditions of the integral similarity [4]. Values for $T_{s.v.}$ are used to describe and control the process of thermal decomposition during fire through the solution of differential equations [4,6,7].

Keywords: model, kinetics, differential equations.

Анализ литературных данных

В качестве напольных покрытий (НП) в настоящее время чаще всего используется линолеум на основе ПВХ (поливинилхлорида). Среди множества других полимеров он обладает преимуществом ввиду того, что линолеум является прочным материалом, устойчивым к интенсивным динамическим нагрузкам, обладает высокими показателями пожароустойчивости, звукоизоляции и теплоизоляции (в отличие от древесных покрытий). НП на основе ПВХ являются доступными по ценам, при отсутствии термических воздействий экологически безопасны. Их выбор носит многокритериальный характер и осуществляется с учетом ряда факторов, в том числе связанных с возможностью терморазрушения НП при пожарах и с образованием значительного количества токсичных газов. Динамика этих процессов нуждается в экспериментальном изучении и разработке методов количественного прогнозирования [5].

При построении математической модели терморазрушения ключевую роль играет точное определение $T_{с.в.}$ (температуры самовоспламенения) как параметра, характеризующего состояние системы, когда функциональная связь между обобщенными критериями находится с учетом выполнения условий интегрального подобия. Именно в окрестности температуры $T_{с.в.}$ возможно записать уравнения подобия в аналитическом виде для моделей процессов с физико-химическими превращениями [1,7]. Применяя асимптотические разложения функций источников в окрестности этих точек, удается получить приближенные аналитические решения в виде уравнений подобия [4,6], на основе которых можно проводить физико-химическое моделирование [3,4]. Схематично роль $T_{с.в.}$ при построении математической модели терморазрушения представлена на рис. 1.



Рис. 1. Роль $T_{c.v.}$ при построении модели терморазрушения.

В дальнейшем эти уравнения подобия будут являться базовыми при изучении закономерностей отдельных процессов, а также при решении химических и коэффициентных [2] обратных задач нестационарного теплопереноса и воспламенения.

Погрешности искомым величин зависят от погрешностей входных данных и тех результатов экспериментов, которые используются в расчетах. При этом наибольшую ошибку в определяемые характеристики при решении как прямых, так и обратных задач вносит неточное задание $T_{c.v.}$ [2,6].

Если представить зависимости $T_{c.v.} = f(dT/dt)$ в обобщенном виде, то с ростом скорости нагрева ($\frac{dT}{dt}$) температура $T_{c.v.}$ увеличивается, что также соответствует релаксационным представлениям [4] об исследуемом процессе.

Точное количественное описание всех взаимодействий в такой системе в критический момент времени (в области $T_{c.v.}$) требует разработки кинетических моделей, которые отражали бы сложную схему превращений и учитывали бы нестационарность процесса. Это позволило бы прогнозировать и управлять процессами терморазложения и дымообразования НП при пожаре.

Сложность кинетического описания процесса при терморазложении и дымообразовании напольных покрытий порождает проблемы вычислительного характера как для обработки экспериментальных данных, так и для подбора оптимальных параметров эксплуатации и прогнозирования поведения материалов в условиях пожара.

Необходимы иные подходы, которые могли бы привести к сокращению размерности описания такого процесса, но при этом не были бы потеряны особенности его детального механизма, гарантирующие надежное прогнозирование течения процесса [3].

Методика исследования

В качестве объектов исследования использованы образцы покрытия напольного на основе поливинилхлорида фирмы «ТАРКЕТТ» «Мода-602» и «Танго-4». Методика экспериментального исследования состоит в следующем: образец нагревается в атмосфере высокотемпературного газа-окислителя (воздуха) при температуре до 1298 К при скоростях нагрева 5, 10, 15, 20, 25 градусов в минуту на приборе STA 449 F1 Jupiter.

Испытуемые и эталонные образцы (оксида алюминия – Al_2O_3) помещаем на платиновые тигли и устанавливали на керамическом стержне, на который опускается цилиндрическая электрическая печь. Оксид алюминия удовлетворяет таким требованиям, предъявляемым к эталонам, как химическая инертность и низкое давление паров. При этом для получения идентичных результатов в каждом случае сохраняли сходные условия эксперимента (масса образца, материал тигля и эталона, атмосферы в печи). Доверительная вероятность составляет 0,95 при уровне значимости 0,05.

Температуру $T_{c.v.}$ определим по формуле [7,10], которая следует из критического условия са-

мовоспламенения [10] продуктов термодеструкции НП в воздухе в измерительной ячейке цилиндрической формы. В этом случае $a = 1,37$ [7,10].

$$T_{с.в.} = T_{ст} + a \frac{R_0 T_{ст}^2}{E}, \quad (1)$$

где $T_{ст}$ – температура стенки ячейки, К;

a – сомножитель [7,10];

E – энергия активации процесса самовоспламенения, Дж/моль;

R_0 – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль*К).

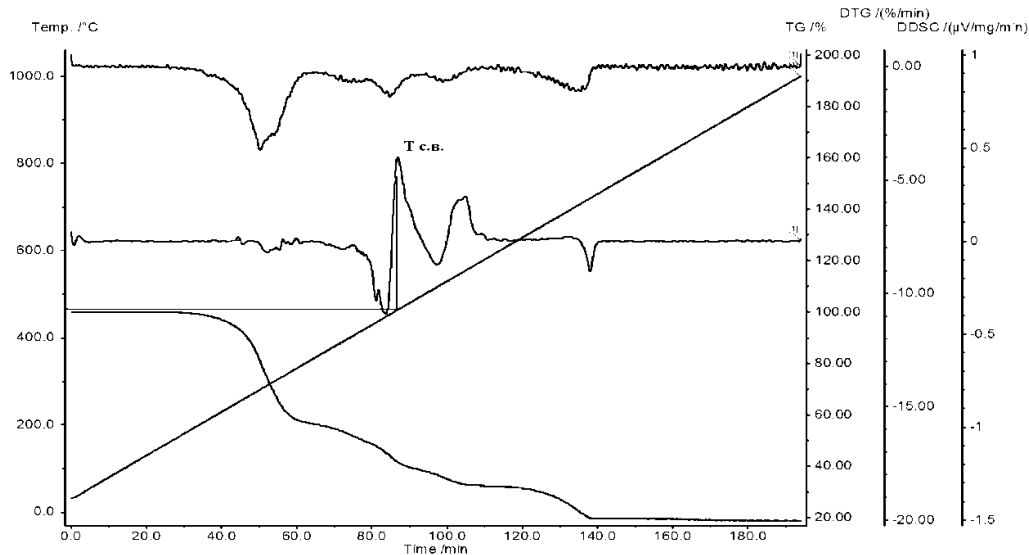


Рис. 2. ДТГА (дифференциальная кривая скорости потери массы), ДТА (кривая дифференциально-термического анализа), T (температурная кривая), ТГ (термогравиметрическая кривая) при нагреве образца «Танго-4» со скоростью 5 град/мин в атмосфере воздуха.

Кинетические характеристики процесса термодеструкции определялись в результате обработки данных термогравиметрических испытаний (рис.2).

Основной принцип системного анализа ориентирован на то, чтобы формализовать варианты представления исследуемой системы (описания процессов и решения задач), а также на выбор наилучшего варианта. Процесс термодеструкции является динамическим, поэтому встает задача прогнозирования состояний под действием различных факторов. Для этой цели удобно использовать методы структурного моделирования, позволяющие еще на стадии постановки упростить решаемую задачу путем исследования внутренней структуры рассматриваемого объекта.

Результаты исследований и их обсуждение

Для сохранения найденных значений использовались базы данных программного пакета Netzsch Proteus Analysis. Рационально организованные структуры хранения данных позволяют более эффективно решать задачи многокритериальной оптимизации, значительно экономить машинное время на расчеты, так как процедура подбора коэффициентов уравнений в этом случае будет начинаться с субоптимальных вариантов (значений) [5]. Кинетические параметры в окрестности температуры $T_{с.в.}$ определены согласно методике, подробно описанной в [8]. Температура $T_{с.в.}$ увеличивается с увеличением скорости нагрева, это согласуется с релаксационными представлениями о процессе термодеструкции [4]. Представленные на рис.3,4 экспериментальные зависимости получены с доверительной вероятностью 0,95.

Это упрощает алгоритмизацию получения параметров модели [4].

Расчеты показали, что использование системного подхода для выбора математического описания процессов терморазложения и дымообразования напольных покрытий в модельных условиях является обоснованным и может использоваться для описания кинетики реакций, протекающих в условиях пожара.

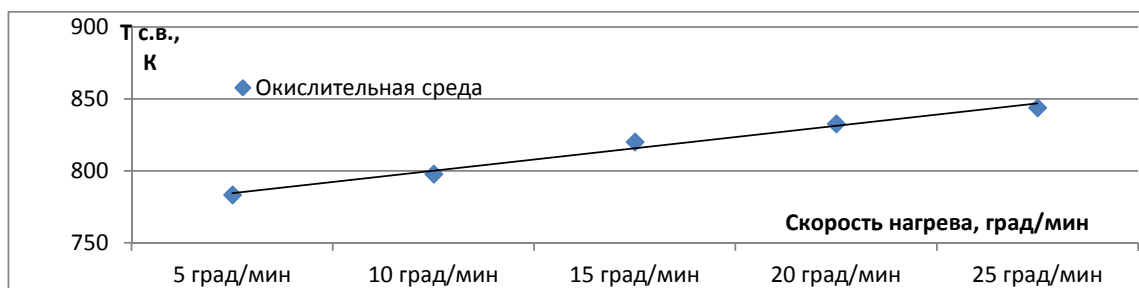


Рис. 3. Графическое выражение зависимости $T_{с.в.}$ от скорости нагрева образца покрытия напольного марки «Танго-4».

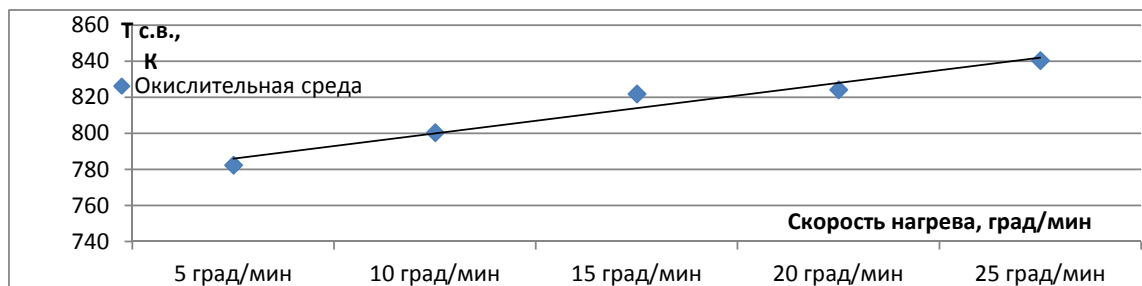


Рис. 4. Графическое выражение зависимости $T_{с.в.}$ от скорости нагрева образца покрытия напольного марки «Мода-602».

Таблица 1

Определение $T_{с.в.}$ образца покрытия напольного марки «Танго-4»

| Скорость нагрева, град/мин | Т ст., К | $E_{акт}$, Дж/моль | a | $T_{с.в.}$, К |
|----------------------------|----------|---------------------|------|----------------|
| 5 | 745 | 164450,9 | 1,37 | 783,44 |
| 10 | 765 | 201614,5 | 1,37 | 798,06 |
| 15 | 781 | 176589,3 | 1,37 | 820,34 |
| 20 | 797 | 202030,2 | 1,37 | 832,81 |
| 25 | 805 | 188977,2 | 1,37 | 844,05 |

Таблица 2

Определение $T_{с.в.}$ образца покрытия напольного марки «Мода-602»

| Скорость нагрева, град/мин | Т ст., К | $E_{акт}$, Дж/моль | a | $T_{с.в.}$, К |
|----------------------------|----------|---------------------|------|----------------|
| 5 | 731 | 118308,2 | 1,37 | 782,44 |
| 10 | 753 | 135933,9 | 1,37 | 800,51 |
| 15 | 773 | 138926,9 | 1,37 | 821,99 |
| 20 | 781 | 160543,3 | 1,37 | 824,27 |
| 25 | 789 | 137347,3 | 1,37 | 840,62 |

По полученным данным можно с высокой степенью достоверности (с доверительной вероятностью 0,95) использовать значения $T_{с.в.}$ в качестве показателя пожароопасности и учитывать факторы, повышающие данные величины, на этапах проектирования и эксплуатации напольных покрытий.

Выводы

1. Предложено в качестве основного показателя пожароопасности НП использовать температуру $T_{с.в.}$, полученную по данным ДТА (дифференциально-термического анализа) на приборе STA 449

F1 Jupiter.

2. Показано, что в соответствии с релаксационными представлениями [4,6] температура $T_{с.в.}$ растет с увеличением скорости нагрева от 5 до 25 град/мин. Это подтверждено экспериментами с доверительной вероятностью 0,95 и уровнем значимости 0,05.

3. Зависимости $T_{с.в.}$ от скорости нагрева dT/dt носят релаксационный характер и аналогичны соответствующим зависимостям для процессов термодеструкции и дымообразования [4,9] как для самих полимеров [4], так и материалов на их основе [4,5,8,9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Б. В., Гришин М. А. Физическая газодинамика реагирующих сред. М. : Высшая школа, 1985. 464 с.
2. Артюхин В. А., Гусева Л. И., Трянин А. Н. Обработка данных и планирование нестационарных теплофизических экспериментов // Инж.-физ. журнал. 1989. Т. 56, № 3. С. 414–419.
3. Заикин П. В., Микшина В. С. Непрерывный подход в моделировании кинетики реакций многокомпонентной системы // Вестник кибернетики. 2014. № 13. С. 25–31.
4. Исаков Г. Н. Моделирование нестационарных процессов теплопереноса и воспламенения в реакционноспособных средах. Томск : Изд-во Томского ун-та, 1988. 233 с.
5. Исаков Г. Н., Манаева А. Р. Системный анализ вопросов безопасности применения напольных покрытий и математическая модель процессов их терморазрушения // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 1. С. 30–44.
6. Исаков Г. Н., Дегтярь Р. А. Релаксационный анализ закономерностей гетерогенного зажигания полимеров при радиационно-конвективном теплообмене // Физика горения и взрыва. 1989. Т. 25, № 4. С. 3–8.
7. Исаков Г. Н. Теория горения и взрыва (задачи и задания): уч.-метод. пособие. Ч.1. Сургут : ИЦ СурГУ, 2011. 53 с.
8. Исаков Г. Н., Манаева А. Р. Математический анализ дымообразующей способности напольных покрытий на основе поливинилхлорида в условиях пожара // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. С. 45–47.
9. Исаков Г. Н., Манаева А. Р. Прогнозирование характеристик термодеструкции и дымообразования напольных покрытий в условиях пожара // Измерение, контроль, информатизация: материалы XVI международной научно-технической конференции. Т. 1. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2015. С. 86–89.
10. Франк-Каменецкий Д. А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике: учебник-монография. 4-е изд. Долгопрудный: Интеллект, 2008. 408 с.