

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

УДК 614.841

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

Статья поступила в редакцию 25.06.2016, в окончательном варианте – 02.07.2016.

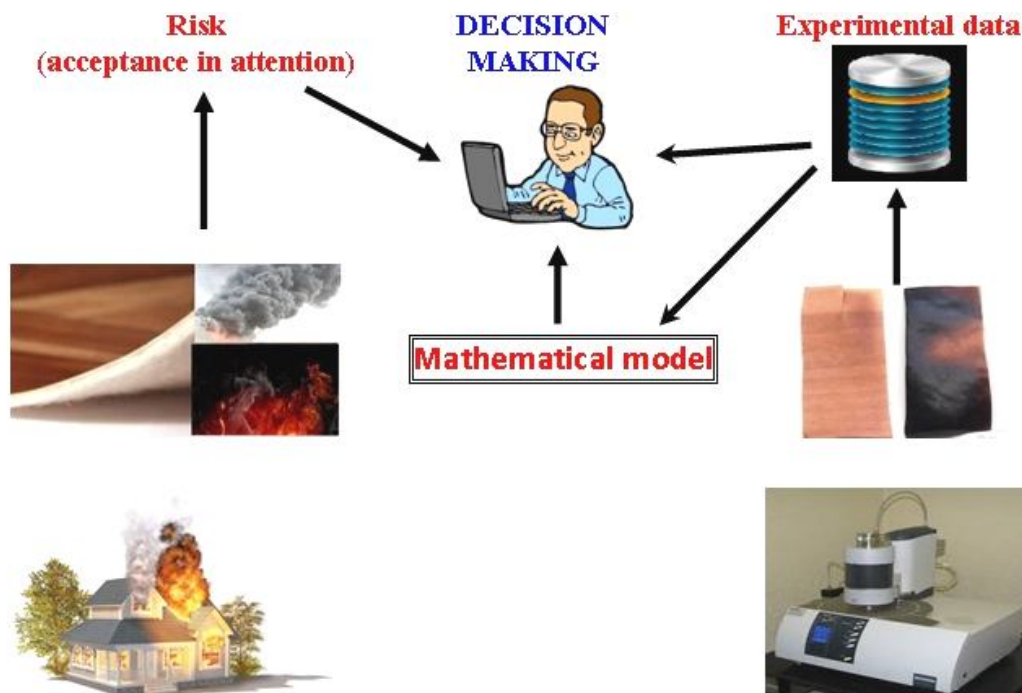
**Манаева Алина Рамзиловна**, аспирант, Сургутский государственный университет, 628408, Российская Федерация, г. Сургут, ул. Энергетиков, 22, e-mail:chem88@yandex.ru

**Исаков Геннадий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, Сургутский государственный университет, 628408, Российская Федерация, г. Сургут, ул. Энергетиков, 22, e-mail:isak\_nik@mail.ru

Определены температуры самовоспламенения ( $T_{с.в.}$ ) напольных покрытий (НП) на основе поливинилхлорида двух торговых марок при скоростях нагрева 5, 10, 15, 20, 25 градусов в минуту в атмосфере воздуха. Предложен новый подход к методологии определения  $T_{с.в.}$  как входного параметра тепломассопереноса при построении математической модели терморазложения, что позволяет управлять этим процессом. Процесс терморазложения НП в воздухе рассмотрен с позиций системного анализа. В этом отношении процесс терморазложения представляет собой сложную физико-химическую систему, обладающую иерархической структурой. Значимым элементом в этой системе является определение ее критических параметров – в данном случае, связанных с процессом самовоспламенения. В окрестности  $T_{с.в.}$  функциональная связь между обобщенными критериями находится с учетом выполнения условий интегрального подобия процессов тепломассопереноса в условиях пожара. Зависимости  $T_{с.в.}$  от скорости нагрева носят релаксационный характер, что позволяет определять  $T_{с.в.}$  при больших скоростях нагрева в условиях пожара. Статистическая обработка данных по определению  $T_{с.в.}$  проводилась при уровне значимости 0,05 и доверительной вероятности 0,95.

**Ключевые слова:** температура самовоспламенения, системный подход, модели терморазложения, математические модели, релаксационный анализ, критическое состояние системы, функциональная связь параметров, статистическая обработка, термический анализ, пожарная нагрузка

#### Графическая аннотация (Graphical annotation)



SIMULATION AND CONTROL PROCESSES AUTOIGNITION FLOORING  
IN BUILDINGS UNDER FIRE

The article has been received by editorial board 25.06.2016, in a final version – 02.07.2016.

**Manaeva Alina R.**, post-graduate student, Surgut State University, 22 Energetiki St., Surgut, 628408, Russian Federation, e-mail: chem88@yandex.ru

**Isakov Gennady N.**, D.Sc. (Engineering), Professor, Surgut State University, 22 Energetiki St., Surgut, 628408, Russian Federation, e-mail: isak\_nik@mail.ru

Defined autoignition temperature ( $T_{s.v}$ ) flooring (NP) based on polyvinyl two brands at heating rates of 5, 10, 15, 20, 25 degrees per minute in an air atmosphere. A new approach to the methodology for determining  $T_{s.v}$ . heat and mass transfer as an input parameter in the construction of a mathematical model of thermal destruction, that allows to control the process. The process of thermal decomposition of the NP in the air is considered from positions of system analysis. In this regard, the thermal decomposition process is a complex physical-chemical system, having a hierarchical structure. A significant element in this system is to determine the critical parameters of the system – in this case, related to the process of self-ignition. In the vicinity of  $T_{s.v}$ . functional link between the generalized criteria is based on the similarity of the conditions of the integral heat and mass transfer processes in fire conditions. Dependencies of  $T_{s.v}$ . from the heating rate are relaxing nature, which allows to define  $T_{s.v}$ . at high heating rates in fire conditions. Statistical analysis of the data to determine  $T_{s.v}$ . have been carried out at a significance level of 0,05 and fiducial probability  $P = 0,95$ .

**Keywords:** auto-ignition temperature, system approach, thermal destruction models, mathematical models, relaxation analysis, critical state of the system, functional connection parameters, statistical processing, thermal analysis, fire load

**Введение.** В процессе проектирования и строительства зданий различного назначения широко применяются напольные покрытия (НП) из различных материалов, включая полимерные. Однако они могут гореть с выделением большого количества токсичных соединений [2]. В условиях высотных зданий, которые все чаще используются в городской застройке крупных населенных пунктов, горение указанных материалов с выделением токсичных соединений может быть особо опасным – для людей, для различных видов компьютерного оборудования, информационных ресурсов на бумажных носителях и в электронной форме [12]. Большинство коридоров являются путями эвакуации, а значит, применяемые в них НП также должны обладать высокими противопожарными свойствами [7].

Причины возгораний могут быть различны. В связи с проводимой кампанией по борьбе с курением в общественных зданиях, риски пожаров от непотушенных сигарет снижаются. Однако высокая насыщенность офисных и жилых зданий радиоэлектронными устройствами потенциально увеличивает риски их перегрева (при нарушении условий вентиляции) и выхода из строя [16], в т.ч. иногда в сочетании с возникновением очагов пожаров.

Для объективности отметим, что возгорания были особенно характерны для компьютерного оборудования и бытовых устройств на основе электронно-лучевых трубок (мониторов, телевизоров) – однако сейчас они уже почти не используются. В то же время сообщения о возгораниях ноутбуков и даже смартфонов (при нарушениях условий конвективного охлаждения) встречаются достаточно часто [1]. Укажем также в качестве потенциального источника угроз возгорания применение электронагревателей воздуха, в т.ч. в офисных и жилых зданиях, общежитиях.

Рассматриваемые в статье НП также широко используются на транспорте (включая железнодорожный пассажирский транспорт [3]), причем в этих случаях вопросы пожароопасности НП могут быть даже более актуальными, чем в зданиях.

Одной из ведущих угроз при пожаре в современных условиях является миграция в воздух токсичных продуктов горения, что особенно характерно для полимерных материалов. Отравление продуктами горения является причиной гибели 80 % людей при пожарах [3].

Поэтому в настоящее время анализ воспламенения и горения естественных и синтетических полимеров приобретает важное научное и практическое значение. Непосредственной целью данной статьи был анализ моделей самовоспламенения НП зданий из поливинилхлоридных материалов в условиях высоких температур. Такие модели позволяют, прежде всего, более обоснованно решать задачи оценки опасностей использования указанных покрытий в случае возникновения в зданиях пожаров.

**Общая характеристика проблематики статьи.** Интерес к исследованиям процессов самовоспламенения НП повысился благодаря назревшей необходимости создания научных основ синтеза негорючих (или слабовоспламеняющихся) полимеров; рациональной технологии получения пожаробезопасных материалов; методов моделирования условий их эксплуатации, исключающих (или снижающих) вероятность появления и распространения пожаров [10].

Относительную склонность полимерного материала к воспламенению оценивают по таким показателям: температура самовоспламенения и воспламенения под воздействием внешних причин; кислородный и температурный индексы; реакция на воздействие источников зажигания различной мощности

и продолжительности действия. Чем ниже температура самовоспламенения или воспламенения под воздействием внешних причин, тем выше склонность полимерного материала к возникновению процесса горения [11], тем больше риски его эксплуатации [5].

Как правило, характеристики нелинейного химического источника теплоты зависят от скорости протекания реакции. Эта нелинейность является важнейшей характерной особенностью процессов горения и создает критические условия [10]. Критическим условием самовоспламенения назовем условие, соответствующее тому, что стационарное распределение температур перестает быть возможным в окислительных средах.

При построении математической модели терморазложения ключевую роль играет определение температуры самовоспламенения ( $T_{c.в}$ ) как параметра, характеризующего состояние системы, когда функциональная связь между обобщенными критериями находится с учетом выполнения условий интегрального подобия. Именно в окрестности точки самовоспламенения можно записать уравнения подобия в аналитическом виде для моделей процессов с физико-химическими превращениями [10]. Применяя асимптотические разложения функций источников в окрестности этих точек, удастся получить приближенные аналитические решения в виде уравнений подобия. На основе этих уравнений можно проводить физико-химическое моделирование [11].

Определить значение критических параметров для построения модели терморазложения возможно, используя систему уравнений (1)–(2) из [9]:

$$\rho C_p \frac{dT_{\dot{n}o}}{dt} = -\rho Q k_{0T} (1 - \eta_T)^{n_T} \exp\left(\frac{-E_T}{R_0 T_{\dot{n}o}}\right) - L \frac{S}{V} (T_{c.в} - \dot{T}_{\dot{n}o}), \quad (1)$$

$$\frac{d\eta_T}{dt} = k_{0T} (1 - \eta_T)^{n_T} \exp\left(\frac{-E_T}{R_0 T_{cm}}\right), \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность (кг/м<sup>3</sup>);  $C_p$  – удельная теплоемкость (Дж/(кг\*К));  $T_{cm}$  – температура стенки измерительной ячейки (К);  $Q$  – тепловой эффект реакции (Дж/кг);  $k_{0T}$  – предэкспоненциальный множитель (1/мин);  $\eta_T$  – степень превращения вещества при данной температуре (1/мин);  $n$  – порядок реакции;  $E$  – энергия активации (Дж/(моль));  $R_0 = 8,314$  (Дж/(моль\*К)) – универсальная газовая постоянная;  $L$  – коэффициент теплоотдачи, (Вт/(м<sup>2</sup>\*К));  $S$  – площадь образца (м<sup>2</sup>);  $V$  – объем образца (м<sup>3</sup>);  $T_{c.в}$  – температура самовоспламенения (К).

Рассмотрим процесс терморазложения НП в воздухе с позиций системного анализа. В этом отношении объект процесса терморазложения представляет собой сложную физико-химическую систему (ФХС). Ее характерной особенностью является иерархичность структуры. Исследование таких систем заключается в автономном моделировании процессов каждого уровня иерархии (разработка блоков математической модели) и установлении связей между процессами всех уровней. Значимым элементом в данной системе является определение критических параметров системы – в данном случае, связанных с процессом самовоспламенения. Схема связей между параметрами процесса терморазложения с учетом самовоспламенения как сложной ФХС в критический момент представлена на рисунке 1.

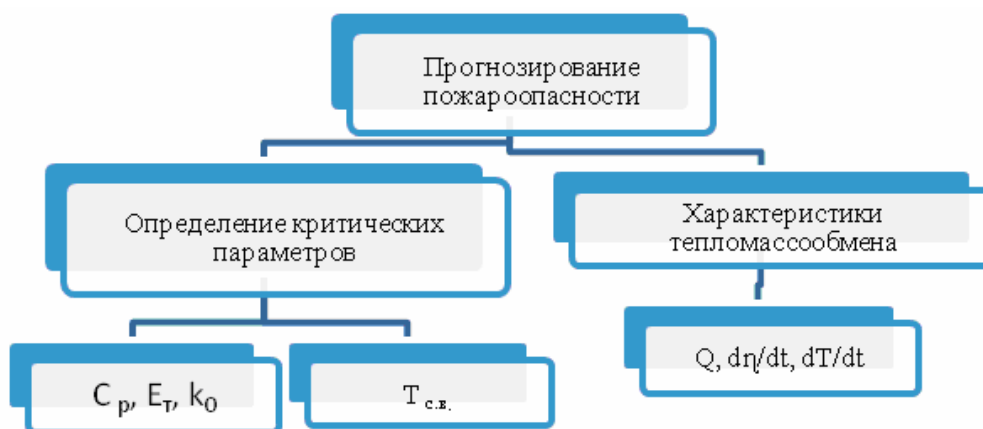


Рисунок 1 – Схема связей между параметрами ФХС в критический момент

В многочисленных работах, связанных с исследованием свойств теплозащитных материалов, в последнее время основное внимание уделяется повышению точности их определения и совершенствованию математических моделей, описывающих тепломассоперенос в материалах при их нагреве [6]. Погрешности искомым (расчетным) 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  $T_{с.в.}$  [11].

**Материал и методика проведения эксперимента.** В качестве объектов исследования были использованы образцы НП на основе поливинилхлорида фирмы «ТАРКЕТТ»: «Мода-602», «Акцент-тимбер». Аппаратное обеспечение и методика проведения экспериментов подробно описаны в [10].

Температура  $T_{с.в.}$  на кривой дифференциального термического анализа (ДТА) определялась по точке перегиба в области экзотермического пика, отвечающего за самовоспламенение продуктов термодеструкции НП [11] в воздухе (рис. 2). ДТА позволяет одновременно регистрировать изменения массы образца и процессы, сопровождающиеся выделением или поглощением тепла [15].

Проведение современного тепломассообменного эксперимента сопряжено с большими временными и материальными затратами. Поэтому такие эксперименты требуют тщательной подготовки и подбора средств измерений; методов обработки результатов этих измерений; оптимального планирования экспериментов на основе эффективных математических методов. Существует достаточно большое количество работ, посвященных математическому моделированию процесса термодеструкции в материале. Подробный анализ таких работ произведен в [13].

Моделирование тепломассообменных процессов необходимо проводить с помощью уравнений подобия. Они позволяют оценить основные эффекты взаимодействия входящих в систему параметров и, в связи с этим, обладают оптимальными свойствами. Это связано с тем, что исследуемые процессы относятся к классу сложных, плохо организованных систем со многими взаимосвязанными и взаимодействующими компонентами. В результате моделирования необходимо оценить основные числовые характеристики переменных как случайных величин. В качестве таких переменных может быть использована любая из варьруемых величин, входящих в критерии подобия [9].

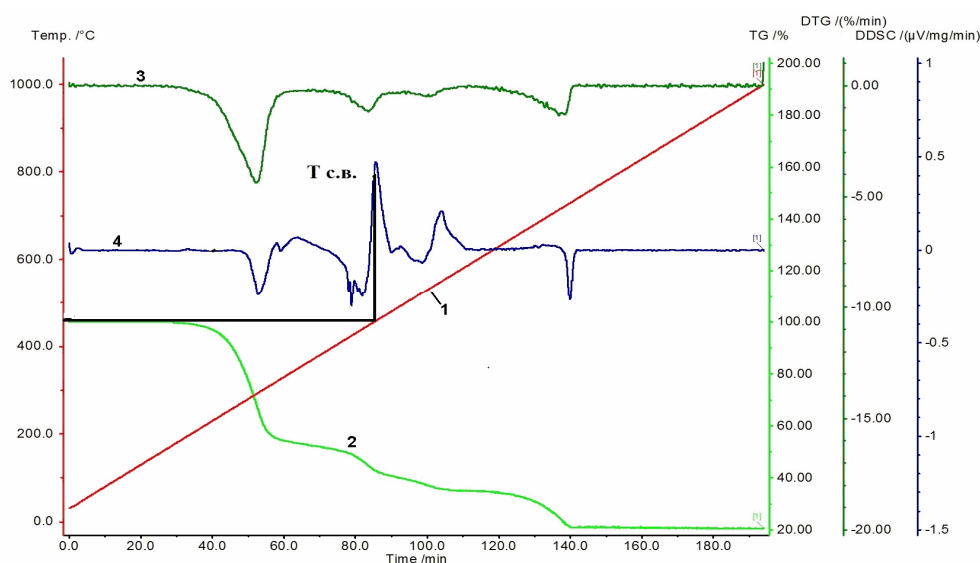


Рисунок 2 – ДТГА и термогравиметрическая (ТГ) кривые при нагреве образцам «Мода-602» со скоростью 5 град/мин в атмосфере воздуха [10]. Цветовые обозначения: (1) красный – T, (2) салатный – ТГ; (3) зеленый – ДТГА; (4) синий – ДТА

**Результаты исследований и их обсуждение.** Статистическая обработка данных по определению  $T_{с.в.}$  проводилась при уровне значимости 0,05 и доверительной вероятности 0,95. Число измеренных значений  $N$  (т.е. число повторностей эксперимента, выборка) составляет 7, что обеспечивает соблюдение доверительной вероятности 0.95 и нормального закона распределения. Определив  $S_x$  (дисперсию случайной величины) по формулам (3) и (4), авторы проверили наличие в группе наблюдений грубых погрешностей исходя из правила «трех сигм».

Оценка дисперсии случайной величины выполнялась по [8]:

$$S_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2, \tag{3}$$

где  $f = N - 1$  – число степеней свободы;  $X$  – значение случайной величины.

Для среднеквадратичного отклонения использовалось выражение:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}, \quad (4)$$

Наблюдения, содержащие грубые погрешности (выходящие за пределы трехсигмового интервала), авторы исключили из группы результатов и заново повторили вычисления. Интервальные оценки для математического ожидания были найдены по формуле (5).

Интервальные оценки для математического ожидания:

$$\bar{x} - \frac{t_q S_x}{\sqrt{N}} \leq m_x \leq \bar{x} + \frac{t_q S_x}{\sqrt{N}}, \quad (5)$$

где  $t_q$  – значение критерия Стьюдента, которое определялось по таблицам для  $f$  степеней свободы и уровня значимости  $q = 0,05$  при заданной доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

Интервальные оценки для математического ожидания не превышают  $\pm 0,6\%$  от оценки математического ожидания по формуле (6) из [8]. В нашем случае, при  $N = 7$  значение  $t_q = 2,45$ .

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j. \quad (6)$$

Результаты определения  $T_{c.v.}$  для образцов линолеума, используемого в качестве НП, представлены в таблице 1. Графическое выражение зависимости  $T_{c.v.}$  образца покрытия напольного марки «Акцент тимбер» от скорости нагрева представлено на рисунке 3.

Таблица 1 – Результаты экспериментов по определению  $T_{c.v.}$

Скорость нагрева, град/мин	Значение $T_{c.v.}$ (K)			
	«Акцент тимбер»		«Мода-602»	
	Интервал $S_x$	$\bar{X} \pm m_x$	Интервал $S_x$	$\bar{X} \pm m_x$
5	0,7–2,57	787±3	0,12–1,75	731±3
10	0,47–2,51	824±3	0,12–2,33	753±2
15	1,22–2,45	846±5	0,45–1,94	772±5
20	0,76–2,1	857±2	0,76–2,39	781±2
25	0,18–2,27	864±2	0,23–2,22	789±2

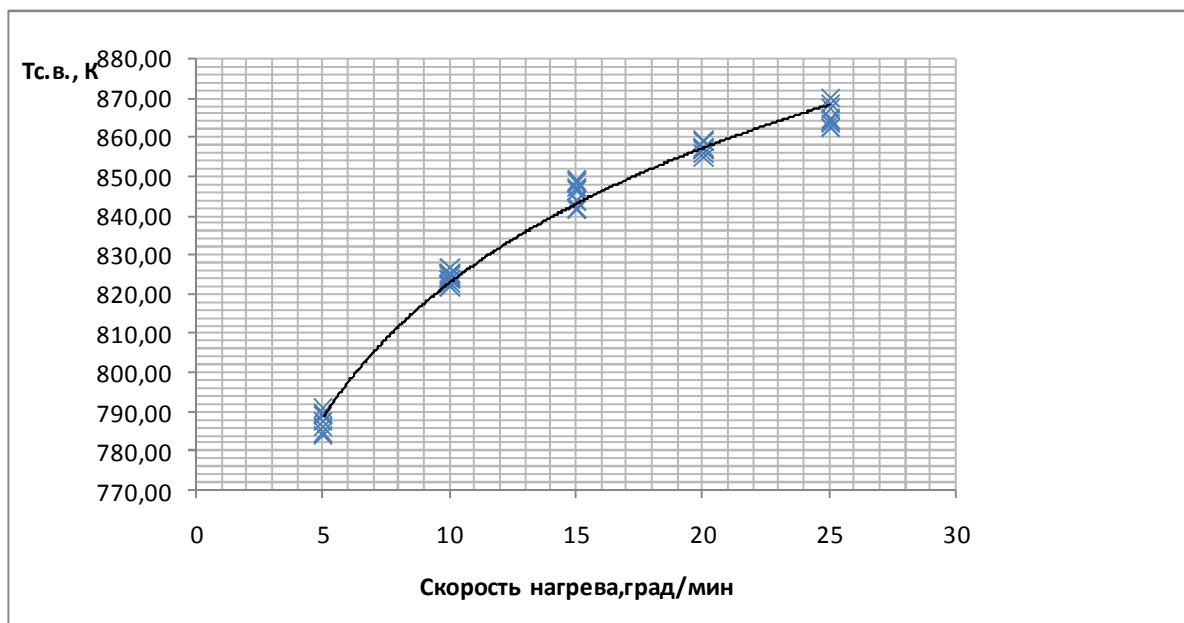


Рисунок 3 – Графическое выражение зависимости  $T_{c.v.}$  от скорости нагрева  $dT/dt$  образца покрытия напольного марки «Акцент тимбер»

По полученным данным можно с высокой степенью достоверности использовать значения  $T_{с.в.}$  в качестве показателя пожароопасности на этапах проектирования и эксплуатации НП [11] для зданий.

**Направления автоматизации представленных расчетных методик.** В настоящее время проектировщики обычно используют «фирменные каталоги» НП (чаще всего в электронной форме), или каталоги специализированных фирм-поставщиков таких материалов. В таких каталогах вопросы пожароопасности НП, выделения из них токсичных веществ при горении если и отражаются, то не полностью. Поэтому имеется объективная потребность расширения средств информационно-аналитической поддержки проектировщиков (и, возможно, эксплуатантов зданий) в отношении выбора НП.

Использование рассмотренных в данной статье расчетных методик, а также подбора НП при проектировании, может быть автоматизировано даже с применением штатных средств электронных таблиц, например – Microsoft Excel. С позиций проектировщиков наиболее важной информацией является та, которая приведена на рисунках типа 3. Поэтому для всех видов НП, которые могут рассматриваться как возможные альтернативы при выборе решений для вновь проектируемых или реконструируемых зданий, предварительно должны быть построены такие графики. Набор таких графиков может рассматриваться как база данных с графическими объектами [4]. Указанная база может быть достаточно обширной и пополняться по мере появления новых видов НП. При этом источниками данных для нее могут быть не только данные фирм-производителей продукции, но и результаты проведения испытаний независимых тестовых центров.

Покрытие должно быть доступным по цене и в то же время иметь продолжительный срок службы, быть безопасным и внешне привлекательным, выгодным в плане затрат на эксплуатацию и легким в уборке [14]. Поэтому для целей поддержки принятия решений указанные графики в базе данных целесообразно было бы дополнить следующими параметрами: суммарная толщина НП; вес (на один квадратный метр) поливинилхлоридного покрытия и теплоизолирующего слоя; стоимость квадратного метра НП; характеристика износостойкости НП к трению; оценка устойчивости НП к воздействиям химических реагентов; скорость термодеструкции НП при различных температурах, т.е. того, насколько интенсивно будут протекать процессы горения НП; количество выделяющихся при горении НП газов на единицу ее веса и их химический состав.

Указанные данные помимо оценки опасности горения НП для людей могли бы быть полезны при проектировании систем обнаружения очагов возгорания (пожарных извещателей), т.к. большинство существующих систем такого типа имеют комбинированные датчики, реагирующие на тепло и задымление. Отметим, что, по крайней мере, за рубежом, по сигналам с таких устройств таких могут включаться автоматические системы пожаротушения.

С использованием указанных баз данных (содержащих графику и текст) можно реализовать многокритериальный выбор НП, причем часть параметров, заданных при отборе, могут использоваться как «барьерные ограничения», а часть применяться в интегральной критерии качества (оптимальности) выбора НП.

В техническом плане средства выбора НП из такой базы данных можно реализовать различно.

А) Путем запроса в диалоге с пользователем названия конкретного вида НП или его «ручного» выбора из выпадающего списка.

Б) С помощью «извлечения» из описанной базы данных только тех НП, которые удовлетворяют необходимым критериям отбора (эти критерии также можно задать в ячейках рабочего листа электронной таблицы).

Помимо электронных таблиц для целей поддержки выбора решений проектировщиков может быть разработана и специальная автономная программа. Представляется, что с учетом постоянного появления новых видов покрытий распространение указанной программы в виде устанавливаемых копий является не лучшим решением.

Более эффективным вариантом могло бы быть ведение единой (централизованной) базы данных в рамках информационной системы по НП. Такая информационная система могла бы использоваться проектировщиками в дистанционном режиме – по модели SaaS.

С использованием указанной информационной системы основными направлениями поддержки принятия решений проектировщиков в отношении НП могли бы быть следующие.

1. Оптимальный выбор НП для вновь проектируемого здания.
2. Определение целесообразности замены существующего НП на менее пожароопасное – с учетом факторов риска и стоимости работ по замене НП.
3. Выбор решений по системам пожарной сигнализации (СПС) и управления действиями при пожарах, в т.ч. в случае интеграции СПС в системы интеллектуального управления зданиями [5].
4. Оценка необходимых характеристик систем автоматического пожаротушения, систем вентиляции зданий с учетом предполагаемых к использованию НП.
5. Оценки необходимой скорости эвакуации людей, находящихся в зданиях, в случае возникновения возгорания и пр.

**Выводы.** 1. Проведена статистическая обработка результатов измерения  $T_{c.v.}$  для НП двух торговых марок. Эти значения  $T_{c.v.}$  являются необходимыми параметрами для построения математической модели терморазрушения НП в атмосфере воздуха.

2. Использование критических параметров для построения модели терморазрушения НП оправдано ввиду того, что именно в точке  $T_{c.v.}$  функциональная связь между обобщенными критериями находится с учетом выполнения условий интегрального подобия [9].

3. Выявлено, что с ростом скорости нагрева температура  $T_{c.v.}$  увеличивается, что соответствует релаксационным представлениям о механизме термодеструкции [10].

4. Рассмотрены цели и принципы создания информационной системы по оптимизации выбора НП, позволяющей учесть их характеристики пожароопасности, количества выделяемых токсичных веществ при горении.

#### Список литературы

1. Ажмухамедов И. М. Оценка состояния защищенности данных организации в условиях возможности реализации угроз информационной безопасности / И. М. Ажмухамедов, О. М. Князева // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 24–39.
2. Бакиров И. К. О сложностях определения пожарного риска и угрозы жизни людей от пожара / И. К. Бакиров, И. Р. Халиуллина // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – № 1. – С. 5–8.
3. Басалаева Л. В. Поливинилхлорид на транспорте: назначение, физико-химические, гигиенические свойства, горение: обзор литературы и материалов собственных исследований / Л. В. Басалаева, Л. М. Шафран, И. С. Пресняк, М. Р. Копа // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2008. – № 2 (12). – С. 87–97.
4. Брумштейн Ю. М. Анализ некоторых моделей группового управления рисками / Ю. М. Брумштейн, О. Н. Выборнова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 64–72.
5. Брумштейн Ю. М. Анализ рисков информационной безопасности организаций, связанных с расположением, конструкциями и особенностями эксплуатации зданий / Ю. М. Брумштейн, И. А. Дюдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 148–167.
6. Дворецкий А. Э. О тепловых эффектах термического разложения полимеров в теплозащитных материалах / А. Э. Дворецкий, В. А. Фадеев // Космонавтика и ракетостроение. – 2014. – № 2 (75). – С. 122–128.
7. Дмитриев В. В. Напольные покрытия как неотъемлемая часть интерьера медицинских учреждений / В. В. Дмитриев // Поликлиника. – 2015. – № 4. – С. 18–20.
8. Ивченко Г. И. Введение в математическую статистику / Г. И. Ивченко, Ю. И. Медведев. – Москва : ЛКИ, 2010. – 600 с.
9. Исаков Г. Н. Теория горения и взрыва (задачи и задания): учебно-методическое пособие / Г. Н. Исаков. – Сургут. гос. ун-т. ХМАО-Югры-Сургут: ИЦ СурГУ, 2011. – Ч. I. – 53 с.
10. Исаков Г. Н. Системный анализ вопросов безопасности применения напольных покрытий и математическая модель процессов их терморазрушения / Г. Н. Исаков, А. Р. Манаева // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 1. – С. 30–43.
11. Исаков Г. Н. Анализ дымообразующей способности напольных покрытий на основе поливинилхлорида в условиях пожара / Г. Н. Исаков, А. Р. Манаева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2. – С. 43–47.
12. Колесников Е. Ю. Основные проблемы методологии анализа риска аварий / Е. Ю. Колесников, В. В. Анохин, Е. Ф. Маслов // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – № 2. – С. 5–9.
13. Ненарокомов А. В. Идентификация математических моделей теплопереноса в разлагающихся материалах / А. В. Ненарокомов, А. В. Нетелев // Вестник МАИ. – 2009. – Т. 17, № 1. – С. 81–87.
14. Симбирцева С. А. Современные напольные покрытия с 3 D эффектом / С. А. Симбирцева // Символ науки. – 2015. – № 11–1. – С. 55–56.
15. Фазуллина Р. Н. Исследование теплопроводности текстильных материалов, пропитанных вспучивающимся антипиреном, методом дифференциально-термического анализа / Р. Н. Фазуллина, И. В. Красина, С. В. Илюшина, А. Н. Минязова // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 7. – С. 86–88.
16. Юрков Н. К. К проблеме моделирования риска отказа электронной аппаратуры длительного функционирования / Н. К. Юрков, И. И. Кочегаров, Д. Л. Петрянин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 220–231.

#### References

1. Azhmuhamedov I. M., Knyazev O. M. Otsenka sostoyaniya zashchishchennosti dannyykh organizatsii v usloviyakh vozmozhnosti realizatsii ugroz informatsionnoy bezopasnosti [Assessment of the data protection organization in the conditions of the possibility of implementing information security threats]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 3, pp. 24–39.
2. Bakirov I. K., Khaliullina I. R. O slozhnostyakh opredeleniya pozhnarogo riska i ugrozy zhizni lyudey ot pozhara [On the complexity of determining the fire risk and threat to life from fire]. *Pozharovzryvobezopasnost* [Fire and Explosion Safety], 2015, no. 1, pp. 5–8.
3. Basalaeva L. V., Shafran L. M., Presnyakov I. S., Copa M. R. Polivinilkhlорid na transporte: naznachenie, fiziko-khimicheskie, gigienicheskie svoystva, gorenje: obzor literatury i materialov sobstvennykh issledovaniy [PVC transport: purpose, physico-chemical and hygienic properties, burning: a review of literature and materials of their own research]. *Aktualnye problem transportnoy meditsiny* [Actual Problems of Transport Medicine], 2008, no. 2 (12), pp. 87–97.



4. Brumshteyn Y. M., Vybornova O. N. Analiz nekotorykh modelej gruppovogo upravleniya riskami [Analysis of some models for group risk management]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 64–72.
5. Brumshteyn Y. M., Dyudikov I. A. Analiz riskov informatsionnoy bezopasnosti organizatsiy, svyazannykh s raspolozheniem, konstruktsiyami i osobennostyami ehkspluatatsii zdaniy [Analysis of the information security risks organizations associated with the location, structures and features of operation of buildings]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 148–167.
6. Dvoretzkiy A. Je., Fadeev V. A. O teplovykh effektakh termicheskogo razlozheniya polimerov v teplozashchitnykh materialakh [On the thermal effects of the thermal degradation of the polymer in the heat-shielding materials]. *Kosmonavtika i raketostroyeniye* [Space and Rocket Science], 2014, no. 2 (75), pp. 122–128.
7. Dmitriev V. V. Napolnye pokrytiya kak neotemlemaya chast interera [Flooring as an integral part of the interior of medical institutions]. *Poliklinika* [Clinic], 2015, no. 4, pp. 18–20.
8. Ivchenko G. I., Medvedev Y. I. *Vvedenie v matematicheskuyu statistiku* [Introduction to mathematical statistics], Moscow, LKI Publ., 2010. 600 p.
9. Isakov G. N. *Teoriya goreniya i vzryva (zadachi i zadaniya)* [The theory of combustion and explosion (objectives and tasks): a teaching aid], Surgut, ITs Surgut State University Publ. House, Part I, 2011. 53 p.
10. Isakov G. N., Manaeva A. R. Sistemnyy analiz voprosov bezopasnosti primeneniya napolnykh pokrytiy i matematicheskaya model protsessov ikh termorazrusheniya [System analysis on the safety of floor coverings and a mathematical model of the processes of thermal destruction]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 1, pp. 30–43.
11. Isakov G. N., Manaeva A. R. Analiz dymoobrazuyushchei sposobnosti napol'nykh pokrytij na osnove polivinilhlorida v usloviyah pozhara [Analysis of the smoke-forming ability of floor coverings based on polyvinyl chloride in a fire]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2015, vol. 17, no. 2, pp. 43–47.
12. Kolesnikov E. Yu., Anohin V. V., Maslov E. F. Osnovnye problemy metodologii analiza riska avariyy [The main problems of the methodology of the analysis of the risk of accidents]. *Pozharovzryvbezopasnost* [Fire and Explosion Safety], 2016, no. 2, pp. 5–9.
13. Nenarokomov A. V., Netelev A. V. Identifikatsiya matematicheskikh modeley teploperenosa v razlagayushchikhsya materialakh [Identification of mathematical models of heat transfer in decaying materials]. *Vestnik MAI* [Bulletin of the MAI], 2009, vol. 17, no. 1, pp. 81–87.
14. Simbirtseva N. A. Sovremennyye napolnye pokrytiya s 3 D efektom [Modern floor coverings with 3D effect]. *Simvol nauki* [Symbol Science], 2015, no. 11–1, pp. 55–56.
15. Fazullina R. N., Krasina I. V., Ilyushina S. V., Minyazova A. N. Issledovanie teploprovodnosti tekstilnykh materialov, propitannykh vspuchivayushchimsya antipirenom, metodom differentsialno-termicheskogo analiza [Investigation of thermal conductivity of textile materials impregnated with intumescent flame retardant, by differential thermal analysis]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2016, .vol 19, no. 7, pp. 86–88.
16. Jurkov N.K., Kochegarov I. I., Petryanin D. L. K probleme modelirovaniya riska otkaza ehlektronnoy apparatury dlitel'nogo funkcionirovaniya [Risk modeling problem of failure of the electronic equipment long operation]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 220–231.