

Использование диаграмм совместимости для оптимизации исследования огнезащитных материалов

© Т.Ю. Еремина, Д.А. Корольченко, Ф.А. Портнов ✉

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из актуальных вопросов в науке и образовании является проведение исследований междисциплинарного уровня. Основной целью развития таких исследований в международной практике признано объединение интеллектуальных ресурсов и научно-производственной инфраструктуры.

Основная (аналитическая) часть. Авторами предлагается методологический подход к исследованию, основанный на разделении междисциплинарных методов на группы по уровню масштаба объекта исследования (материала): микроуровень, надмолекулярный уровень, исследование материала, исследование конструкции. В работе представлены методы, используемые при исследовании на каждом из указанных уровней. На основании проведенного разделения на уровни исследования, а также анализа возможных используемых экспериментальных методов на каждом уровне предлагается оптимизация исследования эксплуатационных свойств строительных материалов и огнезащитных материалов посредством применения диаграммы совместимости.

Использование диаграммы совместимости. Методология исследования. В качестве практического примера использования диаграмм совместимости выбрано исследование огнезащитной эффективности группы эфиров кислот фосфора при модифицировании древесины. В работе определен ряд методов, подходящих для предложенной диаграммы совместимости: метод элементного анализа, метод оценки энергии Гиббса, метод оценки удельной поверхности образца, электронная микроскопия, методы оценки пожароопасных характеристик древесины, метод сорбции воды и метод оценки прочности, и метод оценки биозащищенности.

Выводы. Впервые предложен алгоритм обобщения эмпирических данных о механохимических характеристиках материалов с использованием междисциплинарных методов в виде диаграммы совместимости. Данная методология позволяет оптимизировать исследования для любых композитных материалов, сохранив целевые методы исследования и исключив нецелесообразные и сопутствующие экспериментальные исследования со снижением трудозатрат и, как следствие, влияния на окружающую среду.

Ключевые слова: пожарная безопасность; эксплуатационные характеристики конструкций; физико-химические свойства материалов; планирование эксперимента; междисциплинарные методы исследования

Благодарности. Работа была финансово поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Проект «Теоретико-экспериментальное конструирование новых композитных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз» #FSWG-2020-0007).

Для цитирования: Еремина Т.Ю., Корольченко Д.А., Портнов Ф.А. Использование диаграмм совместимости для оптимизации исследования огнезащитных материалов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 6. С. 40–49. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.06.40-49

✉ Портнов Федор Александрович, e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Using compatibility charts to optimize research into fire retardants

© Tatyana Yu. Eremina, Dmitry A. Korolchenko, Fedor A. Portnov ✉

National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Interdisciplinary research is a most relevant issue in science and education. The integration of intellectual resources with research and production infrastructure is acknowledged as the main goal of interdisciplinary research in the international practice.

The main (analytical) part. The authors propose the following methodological approach to the study, based on the distribution of interdisciplinary methods into groups by the scale of the research subject (material). In this case, the studies have the following levels: microlevel, supramolecular level, material research, design research. The paper presents research methods used at each of these levels. The co-authors propose to optimize the study

of performance characteristics of building materials and fire retardants through the use of a compatibility chart with regard for the study levels and the analysis of methods of experimental research at each level.

Using a compatibility chart. The methodology of the study. A research into the fire retardant efficiency of esters of phosphoric acid, used to modify wood, was selected as a practical example for compatibility diagrams. The project encompasses a number of methods applicable to compatibility charts: the method of elemental analysis, the Gibbs energy assessment method, the sample surface assessment method, the electron microscopy method, methods of assessing fire-hazardous characteristics of wood, the water sorption method, strength and biosecurity assessment methods.

Conclusions. The co-authors first proposed an algorithm for generalizing the empirical data on mechanochemical characteristics of materials using interdisciplinary methods in the form of a compatibility chart. This methodology optimizes research into any composite materials though it preserves targeted research methods and eliminates impractical and concomitant experimental studies, thus, reducing labour costs and environmental impacts.

Keywords: fire safety; performance characteristics of structures; physical and chemical properties of materials; fire retardant; experimental design; interdisciplinary research methods

Acknowledgments. The research enjoyed the financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project name: Theoretical and experimental design of new composite materials to ensure safety during the operation of buildings and structures under conditions of technogenic and biogenic threats #FSWG-2020-0007).

For citation: Eremina T.Yu., Korolchenko D.A., Portnov F.A. Using compatibility charts to optimize research into fire retardants. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(6):40-49. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.06.40-49 (rus).

✉ Fedor Aleksandrovich Portnov, e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Введение

Одним из актуальных вопросов в науке и образовании является проведение междисциплинарных исследований. В Российской Федерации в последнее время этому направлению уделяется особое внимание на самом высоком уровне формирования государственной научно-технической политики. Основной целью развития междисциплинарных исследований в международной практике признано объединение интеллектуальных ресурсов и научно-производственной инфраструктуры [1–2].

В нашей стране для снижения пожарной опасности при использовании в строительстве металлических и деревянных конструкций, а также кабельной продукции применяется большое количество отечественных и зарубежных огнезащитных материалов [3–10]. Эти материалы имеют как органическую, так и неорганическую основу, прошли необходимые огневые испытания по стандартам и получили сертификат на практическое использование в строительстве. В связи с этим нет специальных требований, регламентированных стандартами и нормами пожарной безопасности, к огнезащитным материалам для их применения в обычных условиях. Для оценки свойств огнезащитных материалов используются нормативные документы, предназначенные для продукции лакокрасочной отрасли, — лаков, красок. При разработке огнезащитных материалов эти требования должны быть учтены с достаточно большой спецификой междисциплинарных методов исследования механохимического конструирования материалов с заданными параметрами структуры и эксплуатационными свойствами. Эти требования связаны с химической и физической агрессией, вы-

зываемой как внешней средой, так и непосредственно составляющими материалы элементами. Кроме того, должна быть исследована адгезия материалов (из диаграммы совместимости) огнезащитных составов к металлу, дереву и кабелям, технологические факторы при их нанесении на конструкции, зависящие от физико-химических процессов в составе различных огнезащитных материалов.

Методология междисциплинарных исследований предполагает несколько этапов научного исследования, разработка которых является одной из сложнейших задач, объединяющей ученых разных специальностей в моделировании блок-схемы исследований.

Основная (аналитическая) часть

Выбор междисциплинарных методов исследования для механохимического конструирования материалов с заданными параметрами структуры и эксплуатационными свойствами состоит из нескольких этапов, в ходе которых рассматриваются:

- методы механохимического создания материалов;
- физико-химические методы исследования;
- программы огневых и других испытаний.

Известно, что для исследования при механохимическом конструировании материалов с заданными параметрами структуры и эксплуатационными свойствами используются методы термогравиметрического анализа структуры, рентгенофазовой спектроскопии, хромато-масс-спектрограммы, элементного анализа, ИК-спектроскопии, pH-метрии.

Авторами предлагается следующий методологический подход к исследованию, основанный на раз-

делении междисциплинарных методов на группы по уровню масштаба объекта исследования (материала). В этом случае исследования разделяются на следующие уровни:

- микроуровень;
- надмолекулярный уровень;
- исследование материала в целом;
- исследование конструкции.

В табл. 1 представлены методы, используемые при исследовании на микроуровне и надмолекулярном уровне исследования.

Выбор методов исследования процессов структурообразования под влиянием техногенных факторов (пожара), включая чрезвычайные ситуации, обусловлен факторами, способными повлиять на снижение огнезащитной эффективности покрытия: адгезия, его прочностные характеристики, стойкость к воздействию агрессивных сред (включая влагу), срок годности до нанесения на конструкцию и др. Например, большое количество гидрофобных огнезащитных материалов через месяц нахождения в реальных условиях эксплуатации за счет аккумулялирования влаги и различных агрессивных паров и газов теряет свою огнезащитную эффективность от 50 до 100 % [11–12].

Большое влияние на качество и долговечность огнезащитной обработки оказывают условия, в которых эксплуатируются конструкции. В связи с этим, например, при разработке огнезащитных составов для древесины необходимо оценить их свойства при влиянии повышенной и отрицательной температур, различной влажности воздуха, агрессивных паров и газов, атмосферных осадков. Следует иметь данные по сроку годности, времени и степени вы-

сыхания, прочности на изгиб, прочности на удар, биологической стойкости.

В соответствии с этим с микроуровня и надмолекулярного уровня исследования переходят к исследованию материалов и конструкций с сохранением физико-химических характеристик изучаемого объекта (табл. 2).

Для того чтобы оценить и спрогнозировать поведение того или иного огнезащитного материала (применяемого на практике или вновь разрабатываемого) с истечением конкретного срока эксплуатации, эффективными являются методы контроля качества структуры материала (получение данных о характеристиках поверхности композиций — электронная микроскопия), оценка краевого угла смачивания, проведение ИК-спектроскопии, исследование огнезащитных составов методом pH-маркера (комплексное исследование химического состава водных растворов (жесткость, анионная хроматография, pH-метрия)), данных дифференциально-термического анализа (ДТА) и рентгенофазового анализа (РФА), значений эффективного коэффициента теплопроводности, хромато-масс-спектрограмм и др.).

Все вышеперечисленные показатели определяются путем отбора некоторого количества огнезащитного материала прямо с объекта (с подложки материала), где была произведена огнезащитная обработка, и сравнения их с показателями, полученными при исследовании свойств на моделях (после проведения исследований по методике искусственного старения).

На основании проведенного разделения на уровни исследования, а также анализа возможных применяемых экспериментальных методов на каждом уровне предлагается оптимизация исследования экс-

Таблица 1. Междисциплинарные методы исследования на микро- и надмолекулярном уровне

Table 1. Interdisciplinary methods of micro- and supramolecular research

Методы исследования на микроуровне Microlevel research methods	Методы исследования на надмолекулярном уровне Methods of research at the supramolecular level
Физико-химические характеристики Physical and chemical characteristics <ul style="list-style-type: none"> • Оценка теплопроводности / Heat conductivity assessment • Оценка температуропроводности Thermal conductivity assessment • Оценка теплоемкости / Heat-adsorption capacity assessment • Термо-гравиметрический анализ / Thermo-gravimetric analysis • Изотермическая калориметрия / Isothermal calorimetry • Определение энергии Гиббса / Gibbs energy determination 	Оценка пористой структуры Porous structure assessment <ul style="list-style-type: none"> • Удельная поверхность Specific surface • Пористость Porosity • Распределение пор по размерам Distribution of pores by size
Качественный элементный анализ High-quality elemental analysis <ul style="list-style-type: none"> • Рентгенофазовая спектроскопия / X-ray spectroscopy • Хромато-масс-спектрограмма / Chromato-mass-spectrogram • Элементный анализ / Elemental analysis • ИК-спектроскопия / IR spectroscopy • pH-метрия / pH measurement 	Оценка структуры поверхности Surface structure assessment <ul style="list-style-type: none"> • Электронная микроскопия Electronic microscopy • Краевой угол смачивания Limiting wetting angle

Таблица 2. Междисциплинарные методы исследования на уровне материалов и конструкций
Table 2. Interdisciplinary methods of research at the level of materials and designs

Методы исследования на уровне материала Material level research methods	Методы исследования на уровне конструкции Design level research methods
Эксплуатационные характеристики Performance characteristics <ul style="list-style-type: none"> • Оценка водопоглощения / Assessment of water absorption • Оценка водопроницаемости / Assessment of water permeability • Оценка гидрофобности / Assessment of hydrophobic behaviour • Оценка паропроницаемости / Assessment of vapour permeability • Определение адгезии / Adhesive capacity • Оценка термостойкости / Assessment of heat resistance • Оценка теплового старения / Assessment of thermal aging 	Эксплуатационные характеристики Performance characteristics <ul style="list-style-type: none"> • Оценка коррозионной стойкости / Assessment of corrosive resistance • Оценка эрозии / Erosion assessment • Оценка биостойкости / Assessment of biostability • Оценка УФ устойчивости / Assessment of UV stability • Оценка термостойкости / Assessment of heat resistance
Огнезащитные характеристики Fire retardant characteristics <ul style="list-style-type: none"> • Оценка показателей пожарной опасности / Assessment of fire hazards • Оценка огнезащитной эффективности / Assessment of fire retardant efficiency 	Пожароопасные характеристики Fire hazardous characteristics <ul style="list-style-type: none"> • Оценка предела огнестойкости / Assessment of the fire resistance limit
Механические характеристики Mechanical characteristics <ul style="list-style-type: none"> • Оценка прочности / Strength assessment • Оценка растяжения / Stretching assessment • Оценка сдвига / Shift assessment • Оценка изгиба / Assessment of bending 	Механические испытания Mechanical testing <ul style="list-style-type: none"> • Крупномасштабные испытания / Large-scale testing
Методы контроля качества структуры материала Methods of control over the quality of the structure of the material <ul style="list-style-type: none"> • Получение данных о характеристиках поверхности композиций (электронная микроскопия) / Obtaining data on characteristics of the surface of compositions (electron microscopy) • Оценка краевого угла смачивания / Assessment of the limit wetting angle • Проведение ИК-спектроскопии / IR spectroscopy • Исследование огнезащитных составов методом pH-маркер (комплексное исследование химического состава водных растворов (жесткость, анионная хроматография, pH-метрия)) / Using pH markers to study fire retardants (a complex study of the chemical composition of water solutions (hardness, anion chromatography, pH measurement)) 	

платационных свойств строительных материалов и огнезащитных материалов посредством использования диаграммы совместимости (рис. 1).

Предложенная диаграмма позволяет провести всестороннее исследование свойств изучаемого объекта с последующим исключением промежуточных методов для прогнозирования эксплуатационных характеристик типичных по своим свойствам групп материалов.

Использование диаграммы совместимости. Методология исследования

В качестве примера можно рассмотреть исследование пожарной опасности древесины. В ряде

работ приведены примеры исследования различных факторов, влияющих на ее характеристики. В качестве исследуемой группы выбрана древесина, обработанная схожими фосфорсодержащими модификаторами — 20%-ми водными растворами эфиров фосфористой кислоты (диметилфосфит (ДМФ), диэтилфосфит (ДЭФ), дипропилфосфит (ДПФ), дибутилфосфит (ДБФ), дифенилфосфит (ДФФ)), а также полифосфата аммония [13–16].

В данной статье выбран ряд методов, которые укладываются в предложенную диаграмму совместимости (рис. 2). Очевидно, что для получения определенных критериев и результатов нет необходимости учитывать все возможные группы методов,



Рис. 1. Диаграмма совместимости методов исследования

Fig. 1. The chart of compatibility of research methods

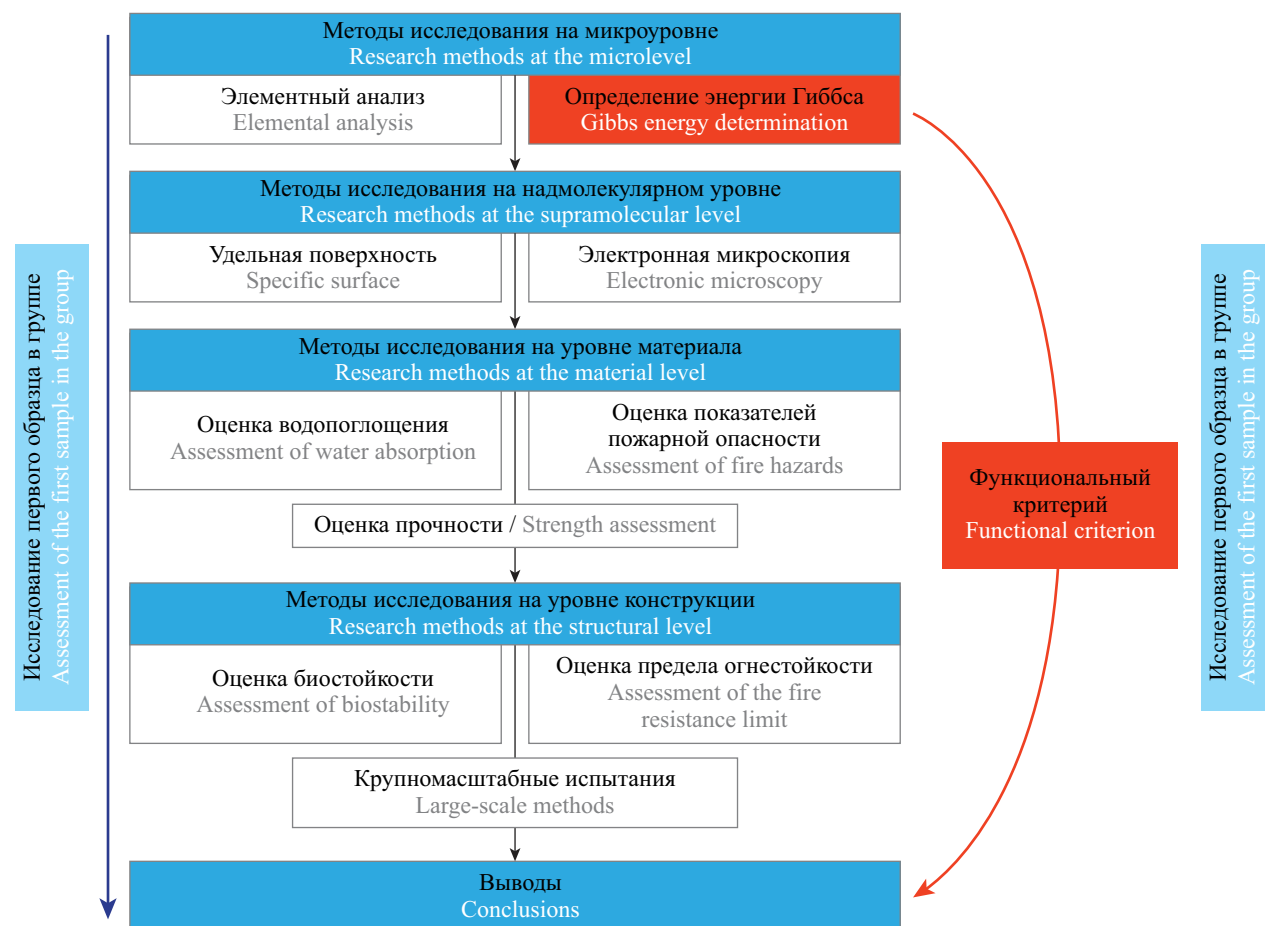


Рис. 2. Применение диаграммы совместимости

Fig. 2. Compatibility chart application

которые не имеют ключевой связи с интересующей нас величиной. Так, для исследования огнезащитности древесины не будет проведено исследование механических характеристик, тем не менее данный вид исследования будет включен в диаграмму совместимости, так как при необходимости такие исследования могут быть проведены.

В качестве используемых методов на микроуровне выбраны метод элементного анализа и метод оценки энергии Гиббса [17–18]. На надмолекулярном уровне используется метод оценки удельной поверхности [19], данные которого также применяются для расчета энергии Гиббса, а также метод электронной микроскопии. Для исследования материала древесины могут быть использованы методы оценки пожароопасных характеристик древесины, метод сорбции воды [20] и метод оценки прочности. В данной работе метод оценки прочности принимается как не имеющий ключевой значимости для конечного искомого результата, поэтому проводиться не будет. Кроме того, основные выводы по огнезащитной эффективности выбранных модификаторов могут быть распространены на уровень конструкций, и в дополнение проведены исследования биостойкости исследуемой древесины.

Результаты и обсуждение

Результаты элементного анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3. Содержание фосфора в поверхностном слое модифицированной древесины до и после термического разложения

Table 3. The content of phosphorus in the surface layer of modified wood before and after thermal decomposition

Показатель Parameter	Модификатор поверхностного слоя Surface layer modifier					
	ДМФ DMP	ДЭФ DEP	ДПФ DPP	ДБФ DBP	ДФФ DPP	ПФА-1 PPA-1
До термического разложения Before thermal decomposition						
% Р	2,87	3,57	2,6	2,65	2,45	2,21
После термического разложения After thermal decomposition						
% Р	0,85	4,7	0,41	0,37	1,06	0,35

На основании полученных результатов можно отметить, что после термического разложения в углистом слое наблюдается наличие химически связанного фосфора, что характеризует эффективное химическое взаимодействие.

Результаты расчета изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса) приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты оценки изменения изобарно-изотермического потенциала образцов

Table 4. Assessment of changes in the Gibbs thermal dynamic potential of samples

Показатель Parameter	Модификатор поверхностного слоя Surface layer modifier					
	ДМФ DMP	ДЭФ DEP	ДПФ DPP	ДБФ DBP	ДМФ DMP	ДЭФ DEP
До термического разложения Before thermal decomposition						
ΔG , Дж ΔG , J	–12,68	–14,5	–4,94	–6,97	–10,16	–2,71
После термического разложения/ After thermal decomposition						
ΔG , Дж ΔG , J	14,31	–14,48	4,05	2,43	–13,69	12,35

Согласно положениям термодинамики, с одной стороны, наибольшее отрицательное значение изменения изобарно-изотермического потенциала характеризует наиболее активные процессы изменения системы, с другой стороны, значение изменения изобарно-изотермического потенциала, близкое к нулю, характеризует устойчивость системы при термодинамическом процессе. При анализе полученных результатов наблюдается высокая активность в процессе химического модифицирования при использовании модификаторов ДМФ, ДЭФ, ДФФ, при этом наибольшая устойчивость при термическом разложении наблюдается для древесины, модифицированной ДЭФ. Полученные данные коррелируются с результатами элементного анализа.

Результаты оценки удельной поверхности (табл. 5) показывают значительное уменьшение размера пор как до термического разложения, так и после в случае использования ДМФ в качестве модификатора, что является результатом эффективного химического закрепления модификатора в пористой структуре древесины. Эта закономерность наблюдается и на снимке электронного микроскопа древесины, модифицированной ДЭФ, после термического разложения (рис. 3). В результате оценки биостойкости по ГОСТ 9.048–89¹ получено, что модифицирование подверженной воздействию плесневых грибов древесины обеспечивает ее 100%-ную биостойкость при использовании всех указанных выше модификаторов. В табл. 6 приведена информация о водопоглощении образцов модифицированной древесины, которые коррелируются с вышеперечисленными результатами.

¹ ГОСТ 9.048–89. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 июня 1989 г. № 2019.

Таблица 5. Удельная поверхность модифицированной древесины до и после термического разложения**Table 5.** Specific surface of modified wood before and after thermal decomposition

Показатель Parameter	Модификатор поверхностного слоя Surface layer modifier					
	ДМФ DMP	ДЭФ DEP	ДПФ DPP	ДБФ DBP	ДФФ DPP	ПФА-1 PPA-1
До термического разложения Before thermal decomposition						
$S_{уд}, \text{см}^2/\text{г}$ $S_{surf}, \text{cm}^2/\text{g}$	73,36	52,88	75,43	65,74	55,6	64,13
После термического разложения After thermal decomposition						
$S_{уд}, \text{см}^2/\text{г}$ $S_{surf}, \text{cm}^2/\text{g}$	58,56	17,08	71,49	70,37	18,28	57,62

Таблица 6. Водопоглощение модифицированной древесины
Table 6. Water absorption of modified wood

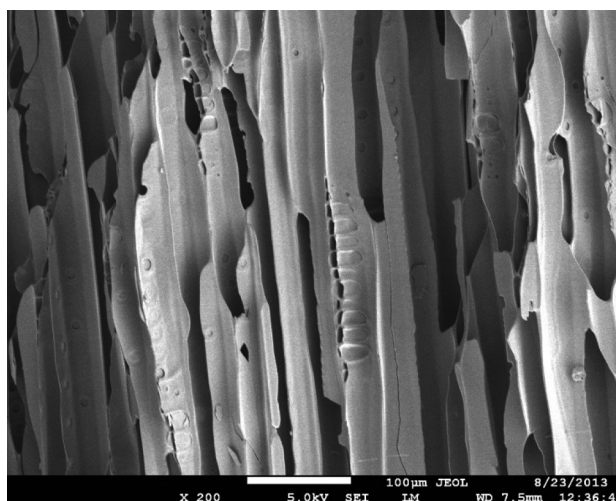
Показатель Parameter	Модификатор поверхностного слоя Surface layer modifier					
	ДМФ DMP	ДЭФ DEP	ДПФ DPP	ДБФ DBP	ДФФ DPP	ПФА-1 PPA-1
$a_m, \%$	215,8	155,5	221,9	193,4	163,5	188,6

В качестве показателей пожарной опасности модифицированной древесины выбраны группы горючести и дымообразующей способности. Результаты оценки выбранных показателей приведены в табл. 7.

На основании полученных результатов можно построить ряд зависимостей. Высокая эффективность выбранных модификаторов объясняется их высокой активностью при взаимодействии с древесиной. Это наблюдается при исследовании структуры модифицированной древесины и отражается в результатах определения изменения

Таблица 7. Показатели пожарной опасности исходной и модифицированной древесины**Table 7.** Fire hazard characteristics of original and modified wood

Показатель Parameter	Исходная древесина Original wood	Модификатор поверхностного слоя / Surface layer modifier					
		ДМФ DMP	ДЭФ DEP	ДПФ DPP	ДБФ DBP	ДФФ DPP	ПФА-1 PPA-1
Потеря массы, % Loss of mass, %	79	8,6	8,5	10,9	11,5	9,5	8,7
Группа огнезащитной эффективности Fire retardant efficiency group	III	I	I	II	II	II	I
$D_m, \text{м}^2/\text{кг}$ $D_m, \text{m}^2/\text{kg}$	970...1013	450...470	130...140	640...680	600...640	740...780	400...440

**Рис. 3.** Снимок электронного микроскопа поверхности древесины, модифицированной ДЭФ после термического разложения**Fig. 3.** An electron microscopy image of the surface of wood modified by DEP after thermal decomposition

изобарно-изотермического потенциала при сгорании данного образца. Благодаря наблюдающейся зависимости результатов исследования на микроуровне и на уровне материала (конструкции) возможно избежать проведения дальнейших многочисленных исследований данной группы модификаторов, основываясь лишь на методах, позволяющих оценивать микроуровень. Существуют значительные недостатки применения большого количества экспериментальных методов:

- большие финансовые вложения и трудозатраты;
- негативное влияние на окружающую среду (например, при натурных испытаниях).

Очевидно, что для прогнозирования характеристик строительных и огнезащитных материалов должны быть подобраны целевые экспериментальные методы. Подобные методы должны соответствовать функциональным критериям изучаемой группы материалов.

Выводы

Впервые предложен алгоритм обобщения эмпирических данных о межахохимических характеристиках материалов с использованием междисциплинарных методов в виде диаграммы совместимости.

Показан практический пример использования диаграммы совместимости.

Данная методология позволяет оптимизировать исследования для любых композитных материалов, сохранив целевые методы исследования и исключив нецелесообразные и сопутствующие экспериментальные исследования со снижением трудозатрат и, как следствие, влияния на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гевель Е.В., Майничева А.Ю., Мыглан В.С. Проблемы сохранения памятников деревянного зодчества г. Енисейска: роль междисциплинарных исследований // Баландинские чтения. 2016. Т. 11. № 1. С. 83–89. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27238485>
2. Ширина Е.В., Крюков К.М. ВМ-технологии в междисциплинарных исследованиях технических и гуманитарных наук // Актуальные проблемы науки и техники 2020 : мат. национальной науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 25–27 марта 2020 г. Ростов н/Д., 2020. С. 1300–1301. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44086434>
3. Маковей В.А. Направления развития огнезащиты материалов, изделий и конструкций, огнезащитных веществ и материалов // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2016. № 1. С. 6–13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25953543>
4. Смелков Г.И., Рябико А.И., Пехотилов В.А., Грузинова О.И., Дармина Н.М. К вопросу об актуализации нормативной базы на средства огнезащиты кабелей // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сб. мат. IV междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 30-й годовщине МЧС России. Иваново, 2020. С. 400–402.
5. Кропотова Н.А. Огнезащита металлических конструкций быстровозводимых зданий // Ройтмановские чтения : сб. мат. VIII науч.-практ. конф. М., 2020. С. 65–70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42880349>
6. Yew M.C., Ramli Sulong N.H., Yew M.K., Amalina M.A., Johan M.R. Influences of flame-retardant fillers on fire protection and mechanical properties of intumescent coatings // Progress in organic coatings. 2015. Vol. 78. Pp. 59–66. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2014.10.006
7. Nemtsov I.V. Fire protection in construction // Science of the XXI century: the experience of the past — a look into the future. 2015. Pp. 103–108.
8. Дейнеко В.А., Зыбин А.О., Торопчина Т.Ю. Comparative study of fire-retardant indicators of flame retardant impregnations for cellulosic materials // Неделя науки СПбПУ : мат. науч. конф. с междунар. участием. 19–24 ноября 2018 г. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. Pp. 84–87. URL: <https://week-science.spbstu.ru/userfiles/volumes/86/file.pdf>
9. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М. : Пожнаука, 2001. 382 с.
10. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A., Frolova M.A. Determination of size properties of the organomineral insulation nanofiller based on the wood matrix // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publ., 2016. Vol. 177. P. 012063. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012063
11. Руденко Б.Д., Плотников С.М. Исследование процесса структурообразования искусственных строительных конгломератов на основе древесных частиц. Роли : Open Science Publishing, 2017. 195 с.
12. Руденко Б.Д., Плотников С.М. Формирование структуры цементно-древесного композита при обработке известью древесного заполнителя // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. № 34. С. 82–84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22573951>
13. Покровская Е.Н. Огнезащита деревянных конструкций модификацией в тонком поверхностном слое // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 2. С. 86–90. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35333318>
14. Анохин Е.А., Полищук Е.Ю., Савиных А.Б. Применение огнезащитных пропиточных композиций для снижения пожарной опасности деревянных конструкций с различными сроками эксплуатации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 2. С. 22–35. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35.
15. Pokrovskaya E.N. Survey of the designs of wooden architectural monuments // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publ., 2020; 728:012003. DOI: 10.1088/1757-899X/728/1/012003

16. Pokrovskaya E.N. Increase of fire protection and strength of wooden structures by modification in a thin surface layer by nanodispersion composites // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1425. P. 012091. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012091
17. Tutygin A.S., Shinkaruk A.A., Aisenstadt A.M., Frolova M.F., Pospelova T.A. Ways to increase and monitor bearing capacity of soils // *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*. 2013. Vol. 7. Part 1. Pp. 37–45.
18. Айзенштадт А.М. Термодинамическая оптимизация состава нанокompозитов горных пород // *Инновационные материалы и технологии для строительства в экстремальных климатических условиях : мат. I Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием*. Архангельск, 02–04 декабря 2014 г. Архангельск, 2014. 244 с.
19. Ruthven D.M. Principles of adsorption and adsorption processes. New York : John Wiley & Sons, 1984. 443 p.
20. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М. : Мир, 1984. 592 с.

REFERENCES

1. Gevel E.V., Mainicheva A.Yu., Myglan V.S. Problems of preservation of monuments of wooden architecture in the town of Yeniseisk: a role of interdisciplinary research. *Balandin Reading*. 2016; 11(1):83-89. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27238485> (rus).
2. Shirina E.W., Kryukov K.M. BIM-technology in interdisciplinary research of technical and humanities. *Current problems of science and technology 2020: Materials of the National Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don, March 25-27, 2020*. Rostov-on-Don, 2020:1300-1301. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44086434> (rus).
3. Makovei V.A. Directions for the development of fire retardant materials, products and designs, fire retardants and materials. *Emergencies: Industrial and Environmental Safety*. 2016; 1:6-13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25953543> (rus).
4. Smelkov G.I., Ryabiko A.I., Pekhotintsev V.A., Gruzina O.I., Darmina N.M. To the question of updating the regulatory framework on the means of fire protection cables. *Modern fire-safe materials and technologies : the collection of materials IV of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 30th anniversary of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. Ivanovo, 2020:400-402. (rus).
5. Kropotova N.A. Fire protection of metal structures of fast-building buildings. *Roitman readings : 8th Scientific and Practical Conference Collection*. Moscow, 2020:65-70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42880349> (rus).
6. Yew M.C., Ramli Sulong N.H., Yew M.K., Amalina M.A., Johan M.R. Influences of flame-retardant fillers on fire protection and mechanical properties of intumescent coatings. *Progress in organic coatings*. 2015; 78:59-66. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2014.10.006
7. Nemtsov I.V. Fire protection in construction. *Science of the XXI century: the experience of the past — a look into the future*. 2015:103-108.
8. Deyneko V.A., Zybin A.O., Toropchina T.Yu. Comparative study of fire-retardant indicators of flame retardant impregnations for cellulosic materials. *Science Week SPBPU : Proceedings of a Scientific Conference with International Participation. November 19-24, 2018*. Saint Petersburg, POLYTECH-PRESS Publ., 2018; 84-87. (rus).
9. Roitman V.M. *Engineering solutions to assess the fire resistance of projected and reconstructed buildings*. Moscow, Pozhnauka Publ., 2001; 382. (rus).
10. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A., Frolova M.A. Determination of size properties of the organomineral insulation nanofiller based on the wood matrix. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publ., 2016. Vol. 177. P. 012063. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012063
11. Rudenko B.D., Plotnikov S.M. Study of the process of structure formation artificial building conglomerates based on wood particles. Raleigh, Open Science Publishing, 2017; 195. (rus).
12. Rudenko B.D., Plotnikov S.M. Formation of structure of cement-wood composite the Limingwood-filler. *Actual problems of the forestry complex*. 2012; 34:82-84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22573951> (rus).
13. Pokrovskaya E.N. Fire protection of wooden constructions by modifying the thin surface layer. *Fire and Emergencies: prevention, elimination*. 2018; 2:86-90. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35333318> (rus).

14. Anokhin E.A., Polischuk E.Yu., Savinkov A.B. Use of fire-retardant impregnating compositions for reducing fire hazard of wooden structures of various lifetimes. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(2):22-35. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35 (rus).
15. Pokrovskaya E.N. Survey of the designs of wooden architectural monuments. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publ., 2020; 728:012003. DOI: 10.1088/1757-899X/728/1/012003
16. Pokrovskaya E.N. Increase of fire protection and strength of wooden structures by modification in a thin surface layer by nanodispersion composites. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1425:012091. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012091
17. Tutygin A.S., Shinkaruk A.A., Aisenstadt A.M., Frolova M.F., Pospelova T.A. Ways to increase and monitor bearing capacity of soils. *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety*. 2013; 7(1): 37-45.
18. Eisenstadt A.M. Thermodynamic optimization of the composition of nanocomposite rocks. *Innovative Materials and Technologies for Construction in Extreme Climatic Conditions : materials of the 1st All-Russian scientific and technical conference with international participation. Arkhangelsk, December 02–04, 2014*. Arkhangelsk, 2014; 244. (rus).
19. Ruthven D.M. *Principles of adsorption and adsorption processes*. New York, John Wiley & Sons, 1984; 443.
20. Keltsev N.V. *Basics of adsorption technique*. Moscow, Mir Publ., 1984; 592. (rus).

Поступила 03.11.2020, после доработки 30.11.2020; принята к публикации 10.12.2020
Received November 3, 2020; Received in revised form November 30, 2020; Accepted December 10, 2020

Информация об авторах

ЕРЕМИНА Татьяна Юрьевна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 274777; ORCID: 0000-0003-1427-606X; e-mail: main@stopfire.ru

КОРОЛЬЧЕНКО Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, директор Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 352067; Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

ПОРТНОВ Федор Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-7409-0844; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com

Information about the authors

Tatyana Yu. EREMINA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 274777; ORCID: 0000-0003-1427-606X; e-mail: main@stopfire.ru

Dmitriy A. KOROLCHENKO, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Head of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Head of Institute of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 352067; Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Fedor A. PORTNOV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7409-0844; e-mail: wastingtimefilmart@gmail.com