

Химия, физика и механика
материалов

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выпуск 3(38), 2023

ISSN 2587-9006 (Print)
ISSN 2949-3722 (Online)

***ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»***

**ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА
МАТЕРИАЛОВ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

- ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
- МЕХАНИКА
- ЭКОЛОГИЯ
- ПЕРСОНАЛИИ

Выпуск № 3 (38), 2023

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

Адрес учредителя и издателя: 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 77347 от 05.12.2019).

Главный редактор – д-р хим. наук, проф. О.Б. Рудаков

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.Т. Перцев

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.А. Небольсин

Ответственный секретарь – канд. техн. наук, доц. О.Б. Кукина

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф. О.В. Артамонова (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Д.Е. Барабаш (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р техн. наук, проф. Л.И. Бельчинская (г. Воронеж, ВГЛУ); д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Головинский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р хим. наук, проф. А.Ю. Завражных (г. Воронеж, ВГУ); д-р хим. наук, проф. А.Н. Зяблов (г. Воронеж, ВГУ); д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН В.М. Иевлев (г. Москва, МГУ); д-р хим. наук, проф. А.В. Калач (г. Воронеж, ВИ ФСИН); д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.Е. Калинин (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Козлов (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук Д.Н. Коротких (г. Москва, МГСУ); д-р геогр. наук, проф. С.А. Куролап (г. Воронеж, ВГУ); д-р техн. наук, проф. С.И. Лазарев (Тамбов, ТГТУ); д-р техн. наук, проф. Л.В. Моргун (г. Ростов-на-Дону, ДГТУ); д-р техн. наук, проф. С.Л. Подвальный (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. К.К. Полянский (г. Воронеж, ВФ РЭУ им. Г.В. Плеханова); д-р техн. наук, проф. Ю.В. Пухаренко (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ); д-р хим. наук, проф. А.М. Самойлов (г. Воронеж, ВГУ); д-р хим. наук, проф. В.Н. Семенов (г. Воронеж, ВГУ); д-р физ.-мат. наук, проф. О.В. Стогней (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. П.Т. Суханов (г. Воронеж, ВГУИТ); д-р техн. наук, проф. А.А. Трещев (г. Тула, ТулГУ); д-р техн. наук, проф. О.Л. Фиговский (Израиль, Глава Департамента по науке инновационного центра «Альянс народов мира», г. Хайфа); д-р техн. наук, доц. О.Н. Филимонова (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р биол. наук, проф. Н.Н. Харченко (г. Воронеж, ВГЛУ); д-р хим. наук, проф. Н.В. Шелехова (г. Москва, ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»).

В издании публикуются результаты научных исследований и производственного опыта сотрудников ВГТУ и других образовательных, научных, научно-производственных организаций по проблемам химии, физики и механики строительных и технических материалов; химической технологии и физико-химических методов диагностики, контроля качества и безопасности материалов, применяющихся в строительстве и технике; по техносферной безопасности.

Издание рекомендуется специалистам по промышленному и гражданскому строительству, материаловедцам, технологам, инженерам, научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам архитектурно-строительных и технических учебных заведений.

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции.

Дизайн обложки Н.И. Мироненко

АДРЕС РЕДАКЦИИ

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 6419

тел.: +7(473) 2369350, +7(473)2717617

E-mail: chemistry@vgasu.vrn.ru, lgkkn@rambler.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ

Рудаков О.Б., Аббуд М., Матюхин Д.Т.

Контроль стойкости пигментов цветной бумаги к УФ-облучению методом цифровой цветометрии с помощью смартфонов..... 4

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Фиговский О.Л., Кукина О.Б., Чудина Т.А.

Оценка состояния применения огнезащитных полимерных материалов в строительстве... 20

Белькова Н.А., Ндайизейе Фуади, Шмитько Е.И.

Обоснование нормативных и технических требований к характеристикам автомобильных дорог в республике Бурунди..... 69

Хорохордин А.М., Рудаков Я.О., Хорохордина Е.А., Распопова А.А.

Новое в контроле качества минераловатного утеплителя..... 81

Золотухин С.Н., Харина А.О., Стукалин А.А.

Современные методы укрепления глинистых грунтов..... 91

МЕХАНИКА

Юрьев В.А., Калинин Ю.Е.

Зависимость микротвердости и плотности термоэлектрического материала n-типа проводимости от угла образующей конуса фильеры, полученного методом экструзии..... 104

ЭКОЛОГИЯ

Яковлева Д.М., Винокурова И.М., Букиа С.Н.

Предотвращение внештатных аварийных ситуаций на нефтегазовых предприятиях..... 113

ПЕРСОНАЛИИ

Проскурин Д.К., Колосов А.И., Рудаков О.Б., Кукина О.Б.

Юбилей Небольсина Валерия Александровича.....130

ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ

УДК 543.4:54.412.2

**КОНТРОЛЬ СТОЙКОСТИ ПИГМЕНТОВ ЦВЕТНОЙ БУМАГИ
К УФ-ОБЛУЧЕНИЮ МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ ЦВЕТОМЕТРИИ
С ПОМОЩЬЮ СМАРТФОНОВ**

О.Б. Рудаков, М. Аббуд, Д.Т. Матюхин*

*Воронежский государственный технический университет
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Рудаков Олег Борисович, E-mail: robi57@mail.ru*

Изучено влияние УФ - облучения на стойкость цвета двух наборов цветной бумаги для детского творчества с применением смартфонов с операционными системами iOS и Android. Установлено, что в течение 60 мин УФ - облучения бумаги (искусственное старение) наблюдается изменение параметров цветности в модели RGB от нескольких процентов до ≈ 2 -х раз, при этом интенсивность компонент цветности R, G и B для выбранных образцов бумаги изменяется либо симбатно, либо разнонаправленно, растет или падает, но в целом изменяется нелинейно, поэтому целесообразным измерять интегральные показатели, а именно соотношения относительных сумм интенсивностей F_R , F_G и F_B от времени облучения. Для регистрации и обработки снимков использовали бесплатное ПО Color Detector.

Ключевые слова: цифровая цветометрия, смартфон, цветовая модель RGB, цветная бумага

**CONTROL OF THE RESISTANCE OF COLORED PAPER PIGMENTS
TO UV IRRADIATION BY DIGITAL COLOROMETRY USING
SMARTPHONES**

O.B. Rudakov, M. Abbud, D.T. Matyukhin*

Voronezh State Technical University

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84

**Correspondence address: Oleg Borisovich Rudakov, E-mail: robi57@mail.ru*

The effect of UV irradiation on the color fastness of two sets of colored paper for children's creativity using smartphones with iOS and Android operating systems has been studied. It was found that during 60 minutes of UV irradiation of paper (artificial aging), a change in the chromaticity parameters in the RGB model is observed from several percent to ≈ 2 times, while the intensity of the chromaticity components R, G and B for the selected paper samples changes either symbatically or in different directions, increases or decreases, but in general It changes non-linearly, therefore it is advisable to measure integral indicators, namely the ratio of the relative sums of the intensities F_R , F_G and F_B from the irradiation time. To register and process the images, we used the free Color Detector software.

Keywords: digital colorometry, smartphone, RGB colormodel, coloredpaper

Трудно найти ту область дошкольного, школьного, среднего специального и высшего образования, где бы не использовалась бумага. Достаточно прочный и вместе с тем удобный в работе поделочный материал – цветная бумага идеально подходит для детского творчества. Да и учащиеся образовательных учреждений художественного и дизайнерского профиля с удовольствием работают с бумагой, ведь из нее можно создавать всякие поделки и макеты, причем делать несложно. Нужно отметить, что работать с бумагой не только интересно, но и полезно. Разрезая, сгибая, склеивая бумагу, ребенок производит действия, благодаря которым развивается его кисть. К тому же работа с бумагой положительно сказывается и на творческом развитии ребенка, развивает его вкус и чувство цвета. Среди особенно популярных видов детского творчества можно назвать поделки из бумаги – аппликации, оригами, сборные конструкции, объемные поделки из бумаги [1]. Таким образом, цветная бумага является востре-

бованным канцелярским товаром, к которому необходимо предъявлять определенные требования качества и безопасности. Так, согласно ГОСТ25779-90, цветная бумага относится к изделиям культурно-бытового, учебного назначения и, в частности, к игрушкам. По требованиям безопасности в цветной бумаге нормируется содержание сурьмы, мышьяка, бария, кадмия, хрома, свинца, ртути и селена. Надо отметить, что эти элементы могут входить в состав неорганических пигментов. Всего для окраски бумаги в средние и интенсивные тона требуется от 0,2 до 1 % массы бумаги.

Качество окраски контролируется экспертами визуально по образцам сравнения. Вместе с тем, в помощь экспертам могут прийти современные разработки в области цифровой цветометрии. В этом методе в качестве аналитического сигнала используют параметры цветности цифрового изображения, полученного в результате фотографирования или сканирования анализируемого образца. Так, известно применение цифровых фотоаппаратов и сканеров в определении параметров цветности бумаги [2, 3], в настоящее время стали активно применяться смартфоны для решения аналитических задач методом цифровой цветометрии [4-7]. Смартфоны имеют достаточно продвинутые цифровые фотокамеры, операционную систему, в которой можно разместить приложения по обработке цвета полученных изображений, они позволяют передавать информацию через интернет, что дает возможность выполнять анализ, как в стационарных условиях лаборатории, так и в «полевых условиях», внелабораторно – в местах ретейла, хранения и использования продукции.

Целью данной работы стало изучение при помощи смартфонов параметров цвета бумаги с разной окраской и влияние УФ - облучения на эти параметры. В работе использована бумага отечественных производителей, смартфоны с операционной системой iOS и Android.

Экспериментальная часть

Для измерения параметров цветности образцов бумаги использовали цветовую модель RGB. Образцы бумаги в течение от 5 до 60 мин облучали ультра-

фиолетом лампой кварцевой лампой «ОУФК-09», установленной на расстоянии 150 мм от бумаги, на этом же расстоянии получали цифровую фотографию бумаги. В качестве регистрирующих устройств выбрали Apple iPhone 7, операционная система iOS, графический процессор Apple A10 Fusion (4 ядра, 2 из которых работают на частоте 2,34 ГГц, 64-битная архитектура ARMv8-A), камера 12 Мп, видео 4К, а также REAL ME C 35, операционная система Android, Unisoc Tiger T616, частота 2000 МГц; количество ядер 8; видеопроцессор Mali-G57. Для регистрации и обработки снимков использовали бесплатное ПО Color De-tector, размер 3,9 Мб, разработчик Raimon gasparfernandez. Цветную бумагу 2-х производителей приобрели в торговой сети: 1 - бумага цветная двухсторонняя для детского творчества, изготовитель ООО «Хатбер М», ГОСТ 25779-90; 2 - цветная бумага производителя ООО «ЛХПБП», ТУ 5463-004-79131142-2012. Съемку проводили при искусственном освещении, 300 люкс. Для нивелирования погрешностей, обусловленных не полной идентичностью условий съемки, регистрировать относительные параметры цветности. Для этого выбрали в качестве эталона сравнения необлученную белую бумагу («Снегурочка», ГОСТ Р ИСО 9706-2000, производитель ОАО «Моди СЛПК») параметры цветности ($R_{ст}$, $G_{ст}$ и $B_{ст}$), которой определяли параллельно.



Рис.1. Бумага цветная двухсторонняя для детского творчества, изготовитель ООО «Хатбер М»

Результаты и их обсуждение

Стойкость цвета, очевидно, зависит от химической структуры пигментов, их сочетания и стабилизирующих цвет добавок. При УФ - облучении образуются интермедиаты с разным сопряжением хромофорных групп, что отражается на цвете бумаги. Контролировать стойкость цвета бумаги по изменению интенсивности отдельных компонент цветности не представляется нами целесообразным, наиболее информативны интегральные показатели, а именно соотношения относительных сумм интенсивностей F_R , F_G и F_B от времени облучения (1).

$$F'_{\text{сум}} = (F_R + F_G + F_B) / (F_{R_{\text{ст}}} + F_{G_{\text{ст}}} + F_{B_{\text{ст}}}) = f(\tau), \quad (1)$$

где F_i – интенсивность i -й компоненты цветности, а $F_{i_{\text{ст}}}$ – интенсивность i -й компоненты цветности образца сравнения – белой бумаги, не подвергшейся УФ облучению, зарегистрированной в одинаковых условиях с анализируемым образцом. Смартфоны с операционной системой iOS и Android показали сходные тренды в изменении цвета бумаги при облучении УФ - светом, т. е., во всех случаях суммарная относительная интенсивность цвета, измеренная двумя смартфонами, изменяется симбатно, однако цветопередача несколько отличается. Разница между значениями $\Delta F'_{\text{сум}} = F'_{\text{сум}(0)} - F'_{\text{сум}(60)}$, полученными с применением iPhone 7 и REAL ME C 35, характеризующими степень изменения цвета за время облучения $\tau = 60$ мин, как видно из табл. 1 и 2, не превышает, как правило, $\pm 10\%$. Установлено, что в течение 60 мин УФ - облучения бумаги (искусственное старение) наблюдается изменение параметров цветности в модели RGB от нескольких процентов до ≈ 2 -х раз, при этом интенсивность компонент цветности R, G и B для выбранных образцов бумаги изменяется либо симбатно, либо разнонаправленно, растет или падает, но в целом изменяется нелинейно (табл. 1 и 2). $F'_{\text{сум}} = f(\tau)$ описывается адекватно полиномиальными уравнениями 3-й степени, степень аппроксимации $R^2 > 0,8$.

Таблица 1

Изменения параметров цветности бумаги 1 при облучении УФ - светом

Цвет	τ , мин	iOS				Android				$\Delta F'_{sum}$	
		R	G	B	F'_{sum}	R	G	B	F'_{sum}	iOS	Android
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
фиолетовый	0	92,2	91,7	141,4	0,48	135,7	135,1	154,8	0,72	1,00	1,00
	5	97,2	111	160,7	0,54	132,8	137,3	165,2	0,73	1,13	1,02
	10	105,4	111,00	167,3	0,56	128,2	134,4	163,4	0,72	1,17	1,00
	20	102,8	111,3	170,3	0,56	126,7	134,4	167,1	0,72	1,17	1,00
	30	106,8	112,8	170,7	0,57	134,6	139,6	161,3	0,73	1,19	1,02
	40	93	97,9	149,6	0,50	126,2	130,4	158,2	0,70	1,04	0,97
	50	97	105,3	160,6	0,53	127,5	133,8	165,2	0,72	1,11	1,00
	60	102,4	110,6	165,8	0,56	138,4	142,7	167,5	0,75	1,16	1,05
голубой	0	131,3	167,7	185,9	0,71	101,2	168,4	200	0,79	1,00	1,00
	5	131,8	175,1	198,4	0,74	93,2	153,1	179,1	0,72	1,04	0,91
	10	148,7	178,8	195,1	0,77	120,4	165,1	186	0,79	1,08	1,00
	20	141,9	185,8	200,8	0,77	115,1	155,7	173,1	0,75	1,09	0,95
	30	162,6	190,3	202,8	0,81	134,9	168,8	185,6	0,82	1,15	1,04
	40	170,3	199,7	209,4	0,85	121,2	164,4	183,6	0,79	1,20	1,00
	50	132,5	181,5	202,7	0,76	120,9	163,3	182,2	0,78	1,07	0,99
	60	128,1	183,1	214,8	0,77	150	177,8	185,4	0,86	1,09	1,09
Светло-зеленый	0	156,5	184,9	89,9	0,63	166,6	202,7	120,3	0,82	1,00	1,00
	5	198,8	240,7	223,1	0,97	169,6	203,8	115,6	0,82	1,54	1,00
	10	190,2	231,9	147,6	0,83	170,7	204,1	118,8	0,83	1,33	1,01
	20	192,4	234,3	158,8	0,86	171,6	204,8	121,6	0,84	1,36	1,02
	30	171,1	235,5	188,9	0,87	169,6	203,3	117,6	0,82	1,39	1,01
	40	166,3	227,7	175,3	0,83	172,4	205,7	117,7	0,83	1,32	1,02
	50	183	229,2	203,5	0,90	172,4	207,5	119,4	0,84	1,43	1,02
	60	165,2	232,2	187,1	0,86	173,1	204,5	123,2	0,81	1,36	1,03
Оранжевый	0	209,7	168,3	127,1	0,74	182	178,4	166,8	0,89	1,00	1,00
	5	184,8	152,1	113,1	0,66	179,8	170,9	164,4	0,87	0,89	0,97
	10	198,8	167,1	128,6	0,72	173,2	160,6	154,9	0,82	0,98	0,92
	20	192,6	160,4	120,5	0,69	169,8	159	155,3	0,81	0,94	0,91
	30	194,3	162,9	124,7	0,71	160,7	150,3	144,0	0,77	0,95	0,86
	40	204,7	173,6	136,3	0,75	160,3	153,3	146,1	0,77	1,02	0,87
	50	180	147,4	110,7	0,64	162,4	153,1	148	0,78	0,87	0,88
	60	190,1	158,6	121,8	0,69	157,1	146,2	140,5	0,75	0,93	0,84

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Желтый	0	192,6	213,4	137,8	0,80	190,0	200,0	130	0,87	1,00	1,00
	5	178,0	203,1	164,5	0,80	167,6	178,6	92	0,74	1,00	0,85
	10	188,2	200,9	98	0,71	171	181,1	95,2	0,75	0,89	0,86
	20	178,8	209,9	158,6	0,80	168,4	177,3	96,5	0,45	1,00	0,85
	30	181,8	199,5	145,6	0,77	178	182,8	98	0,77	0,97	0,89
	40	187,8	203,9	110,4	0,74	167,3	176,8	89,8	0,73	0,92	0,84
	50	195,4	189,6	94,7	0,70	176	185	105	0,78	0,88	0,90
	60	176,7	192,2	99,3	0,69	172,1	184,3	98,5	0,77	0,86	0,88
черный	0	168,9	164,3	165,5	0,73	99	100,3	105,3	0,51	1,00	1,00
	5	173	168,8	162,4	0,74	102	109,6	116,7	0,55	1,01	1,08
	10	174,1	172,1	163,6	0,75	105,6	105,8	107,4	0,54	1,02	1,05
	20	177,1	177,2	166,6	0,76	112,6	112,3	116,6	0,57	1,05	1,13
	30	178,0	175,0	167,0	0,71	113,5	118,2	125,2	0,60	1,04	1,18
	40	180,0	176,2	168,0	0,72	114,9	120,5	127,5	0,61	1,05	1,20
	50	182,1	177,0	169,1	0,71	119,7	127,7	135,2	0,64	1,06	1,26
	60	183,0	178,0	170,2	0,69	122,5	133,9	142,1	0,67	1,07	1,31
Лиловый	0	163,7	82,5	143,9	0,57	178,6	129,2	146,3	0,76	1,00	1,00
	5	180,2	97,7	180	0,67	180	133,7	144,7	0,77	1,18	1,01
	10	162,4	97,1	120,9	0,56	181,9	131,8	147,4	0,78	0,98	1,02
	20	165,1	95,8	183,5	0,65	182,5	126,2	153,9	0,78	1,14	1,02
	30	182,5	94,7	143,8	0,62	184	135	154,9	0,80	1,08	1,05
	40	177,2	93,7	149,7	0,62	185,1	133,4	161,2	0,81	1,08	1,06
	50	173	94,6	155,8	0,62	190,9	142,4	164,3	0,84	1,09	1,10
	60	181,4	94	156	0,55	191,2	143,2	164,7	0,84	1,11	1,10
Салатный	0	106,8	189,5	149,9	0,65	88	173,8	123,9	0,65	1,00	1,00
	5	107,5	189,2	150,4	0,66	80,2	165,9	126,1	0,63	1,01	0,96
	10	109,2	188,4	148,6	0,65	88,9	168,6	123,7	0,64	1,01	0,99
	20	99,9	181,4	148	0,63	91,2	171	131,1	0,66	0,97	1,02
	30	98,2	192,8	158,3	0,66	95,5	171,8	127,8	0,66	1,01	1,02
	40	107,6	176,4	159,7	0,65	99,6	169	125	0,66	1,00	1,02
	50	105,6	190,7	156,9	0,66	102,2	187,5	146,9	0,73	1,02	1,13
	60	108	190	160,1	0,67	102,9	190,1	150,3	0,75	1,03	1,15
Синий	0	79,7	137,6	196,8	0,61	29,1	148,5	195,1	0,63	1,00	1,00
	5	86	134,5	180,8	0,59	30,6	143,3	187,3	0,61	0,96	0,96
	10	57,9	113,7	177,5	0,51	33,1	143,7	188,9	0,62	0,84	0,98
	20	100,6	144	171,7	0,61	34,4	149	193,8	0,63	1,00	1,01
	30	84,2	139,8	187,1	0,60	36,4	149,9	196,4	0,64	0,99	1,02
	40	59,3	114,6	171,5	0,51	37,1	151,3	188,7	0,63	0,83	1,01
	50	86,7	134,9	173,9	0,58	38,2	152,1	189,3	0,64	0,95	1,01
	60	100	136	189	0,62	39,3	152,7	194,1	0,65	1,02	1,03

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Красный	0	197,9	107,7	118,9	0,62	177,2	113,3	114,1	0,68	1,00	1,00
	5	207,9	102,7	95,3	0,59	182,9	124	112,1	0,70	0,96	1,04
	10	206,5	121,2	129,9	0,67	179,7	119,1	109	0,69	1,08	1,01
	20	182	101,3	124	0,60	195,2	126,8	111,9	0,73	0,96	1,07
	30	186,3	85,1	79,7	0,51	176,4	115,6	103,8	0,67	0,83	0,98
	40	188,4	89,9	84,8	0,53	171	114,1	100,2	0,65	0,86	0,95
	50	180,7	90	96,0	0,54	170	110,7	101	0,64	0,87	0,94
	60	177,1	87,1	99,1	0,53	166	106,7	91	0,61	0,86	0,90
Темно-коричневый	0	105,8	75	71,2	0,37	125,1	108,2	112,7	0,58	1,00	1,00
	5	148,8	131,5	156,6	0,64	137,2	127,7	134,9	0,67	1,73	1,16
	10	157,3	140,4	163,1	0,68	140	131,1	141,4	0,69	1,83	1,20
	20	188	153,9	159,2	0,73	154,4	142,9	154,9	0,76	1,98	1,31
	30	182,4	161,4	181,9	0,77	150,7	143,8	152,3	0,75	2,08	1,30
	40	161,4	144,2	165,2	0,69	141	131,8	141,6	0,70	1,86	1,20
	50	154,2	137,8	163	0,67	130,8	123,4	131,1	0,65	1,80	1,12
	60	152,9	136,3	162,4	0,66	138	130,3	135,2	0,68	1,79	1,17
Светло-коричневый	0	187,8	137,2	180,4	0,74	161,5	128,2	122,4	0,69	1,00	1,00
	5	205	165,4	215,9	0,86	168,9	124	127	0,71	1,16	1,02
	10	189,5	154,2	213,4	0,82	180,2	158,4	130,7	0,79	1,10	1,14
	20	180,7	152	211,1	0,80	183,3	155,5	136,4	0,80	1,08	1,16
	30	194,5	154,5	211,3	0,82	190,4	157,8	135,3	0,81	1,11	1,18
	40	190,4	153,1	206,7	0,81	190,1	165	136,3	0,83	1,09	1,20
	50	186,3	151,1	208,8	0,80	189,9	157	135,9	0,81	1,08	1,18
	60	191,5	152,4	204,2	0,80	186,5	153,3	137,4	0,80	1,09	1,16
Зеленый	0	117,8	214,4	224,6	0,82	125,7	182,9	130,1	0,74	1,00	1,00
	5	136,3	220,1	188,2	0,80	129,2	184,9	136,6	0,76	0,97	1,02
	10	104,7	211,2	224,7	0,79	143,1	189,4	130,4	0,78	0,97	1,05
	20	123,3	216,7	220,6	0,82	141,2	189,5	132,1	0,78	1,00	1,05
	30	118,4	215,8	216,3	0,81	142,9	189ю3	132,7	0,46	0,98	0,63
	40	116	218,4	224,1	0,82	145,5	193,2	134,6	0,80	1,00	1,08
	50	117	219	229	0,83	131,7	187,2	136,7	0,77	1,01	1,04
	60	118	222	230	0,84	144,4	195,8	143,1	0,81	1,02	1,10
Бордовый	0	147,1	126,2	217,4	0,72	182,7	158,3	162,1	0,85	1,00	1,00
	5	137,3	121,6	219	0,70	186,9	163,4	160,7	0,86	0,97	1,01
	10	141	125,4	218,3	0,71	184,5	162,3	156,3	0,85	0,99	1,00
	20	135,6	122,7	216,7	0,70	185,6	163,8	161,1	0,86	0,97	1,01
	30	129,3	114,7	213,2	0,67	185,9	165	164,2	0,87	0,93	1,02
	40	150	155,6	214,3	0,76	178,5	157,7	156,6	0,83	1,06	0,98
	50	142,6	142	217,1	0,74	183,7	162,4	159	0,85	1,02	1,00
	60	140,2	122,3	229	0,72	182,8	162,6	160	0,85	1,00	1,00

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Розовый	0	235,1	161,5	233,7	0,92	205,1	158	163,3	0,89	1,00	1,00
	5	189,6	133,8	229,9	0,81	203,6	156,4	164,2	0,88	0,88	0,99
	10	186,3	132,7	225,8	0,80	202,7	154,5	157,2	0,87	0,87	0,97
	20	191,6	141,7	230,3	0,83	200,9	155,1	163,1	0,87	0,90	0,98
	30	187,7	134,3	226	0,80	202,8	156,5	163,5	0,88	0,87	0,99
	40	191,6	136,4	227,2	0,81	204,9	156,7	158,1	0,87	0,88	0,98
	50	210,2	145,2	228,7	0,86	203,2	154,5	157,3	0,87	0,93	0,97
	60	162,9	121,2	223,8	0,74	200,5	154,2	152,7	0,85	0,81	0,96
Серый	0	116,5	116,3	222,8	0,67	168,8	159,5	153,2	0,81	1,00	1,00
	5	104,8	111,1	215,9	0,63	174,8	162,3	163,3	0,84	0,94	1,04
	10	114,4	119,1	228,9	0,68	173,9	159,8	163,9	0,84	1,01	1,03
	20	119	124,1	217,1	0,67	177,2	163,9	163,2	0,85	1,01	1,05
	30	128,8	123,2	219,7	0,69	174,8	163,3	169,1	0,85	1,03	1,05
	40	126	114,6	219,2	0,67	175,6	163,4	164,4	0,85	1,01	1,05
	50	125	114,5	222,7	0,68	177,7	168,8	163	0,86	1,01	1,06
	60	124	115,3	226,7	0,68	180,9	173,3	163,9	0,87	1,02	1,08

Таблица 2

Изменения параметров цветности бумаги 2 при облучении УФ - светом

Цвет	τ , мин	iOS				Android				$\Delta F'_{sum}$	
		R	G	B	F'_{sum}	R	G	B	F'_{sum}	iOS	Android
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зеленый	0	91,5	198,2	142,8	0,69	67,7	197,5	150,2	0,70	1,00	1,00
	5	84,8	195,4	140,2	0,67	42,1	192,4	149,6	0,65	0,98	0,92
	10	85,0	196,0	144,0	0,68	43,5	193,6	147,4	0,65	0,99	0,92
	20	82,2	194,2	147,0	0,68	36,1	188,6	146,1	0,62	0,98	0,89
	30	81,0	192,0	145,0	0,67	45,6	196,7	151,8	0,66	0,97	0,95
	40	80,3	190,0	144,5	0,66	21,1	181,5	142,9	0,58	0,96	0,83
	50	82,1	189,0	143,5	0,66	37,3	192,9	149,5	0,64	0,96	0,91
	60	83,0	186,2	140,1	0,66	208,3	150,4	104,3	0,63	0,95	0,90
Красный	0	223,6	121,0	129,4	0,76	213	149,9	124,7	0,78	1,00	1,00
	5	225,0	127,4	135	0,78	209,1	155,6	105,3	0,82	1,03	1,05
	10	232,3	127,8	134,4	0,79	211	150,8	103,8	0,79	1,04	1,01
	20	231,5	126,3	124,8	0,77	207	150,2	97,9	0,78	1,02	1,00
	30	219,9	111,1	108,9	0,70	209,3	146,3	100,6	0,77	0,93	0,98
	40	227,2	122,6	130,3	0,77	213,9	142,8	126,1	0,77	1,01	0,98
	50	229	123,5	122,7	0,76	207	150,2	106,2	0,81	1,00	1,04
	60	230	124	122	0,76	208,3	150,4	104,3	0,78	1,00	1,00

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Синий	0	68,8	121	129,4	0,51	90,9	150,2	218,3	0,77	1,00	1,00
	5	69,9	161,1	195,1	0,68	109,9	175,4	204,2	0,82	1,34	1,07
	10	92,7	159,6	194,3	0,72	121,2	173,9	200,9	0,83	1,40	1,08
	20	79,6	164,5	197,2	0,71	122	177,1	203,1	0,84	1,39	1,10
	30	105,1	162,2	190,7	0,73	109,6	171,6	199,2	0,81	1,44	1,05
	40	93	163,2	194,3	0,72	110,9	170,8	199	0,81	1,41	1,05
	50	98,7	175,7	211,3	0,78	106,6	173,4	202,9	0,81	1,52	1,05
	60	80,2	163,9	200,1	0,71	121	181,2	210	0,86	1,39	1,12
Светло-коричневый	0	211,7	180,2	134,2	0,84	177,3	168,1	141,5	0,82	1,00	1,00
	5	200,9	187,6	154,2	0,87	175,1	147	137,3	0,77	1,03	0,94
	10	194,5	162,6	119,2	0,76	165,3	153,6	126,8	0,75	0,91	0,91
	20	192,8	166	115,6	0,76	171,5	164,9	132,9	0,79	0,90	0,96
	30	192,6	167,2	115	0,76	175,5	148,7	137,6	0,78	0,91	0,95
	40	190,9	177,9	135,6	0,81	172,3	165,4	133,2	0,79	0,96	0,97
	50	219,9	185,5	135,6	0,87	177,5	165,9	131,2	0,80	1,03	0,97
	60	197,7	169,8	119,1	0,78	169,8	162,7	131,2	0,78	0,93	0,95
Темно-коричневый	0	177	137,2	97	0,66	176,8	149,1	137,9	0,78	1,00	1,00
	5	192	150,6	109,5	0,72	174,8	146,8	136,9	0,77	1,10	0,99
	10	176,4	143,6	108,1	0,69	175,5	150,2	137,7	0,78	1,04	1,00
	20	186,7	143,6	113,5	0,71	178	152,5	143,3	0,80	1,08	1,02
	30	198,2	158,4	112,5	0,75	176,8	150,8	139,6	0,79	1,14	1,01
	40	165,4	140	109,5	0,66	177,1	151,7	138,2	0,79	1,01	1,01
	50	167,2	142,5	111,1	0,67	180,3	151	137,9	0,79	1,02	1,01
	60	191,3	150,6	116,3	0,73	182,5	157,6	147,7	0,82	1,11	1,05
черный	0	140,6	141,6	131	0,66	147,2	144,4	139,8	0,73	1,00	1,00
	5	144,6	140,1	129,5	0,66	132,5	132,1	134,2	0,67	1,00	0,92
	10	138,8	139,1	128	0,65	148,4	147,3	144,5	0,74	0,98	1,01
	20	141	138,8	127,2	0,65	149	146,3	140,8	0,73	0,99	1,00
	30	140,7	140,8	129	0,66	140,3	140,3	138,9	0,71	1,00	0,97
	40	140,6	138	124	0,64	146,9	145,8	141,4	0,73	0,98	1,00
	50	172,2	164,2	153,5	0,78	150,2	148,8	144,4	0,75	1,19	1,02
	60	149,5	148,4	133,5	0,69	147,3	146,4	142,7	0,73	1,05	1,01
Фиолетовый	0	136,7	122,8	206,1	0,75	210,3	173,9	170,6	0,93	1,00	1,00
	5	131,6	119,7	197,7	0,72	160,3	139,6	156,8	0,77	0,96	0,83
	10	135,1	119,4	194,6	0,72	164,6	143,6	152,1	0,77	0,96	0,83
	20	128,9	118,1	200,5	0,72	155,8	145,6	157,9	0,77	0,96	0,83
	30	127,9	116,4	199,4	0,71	167,3	141,6	159,7	0,79	0,95	0,85
	40	131,8	120,9	194,3	0,72	169,8	141,7	155,5	0,79	0,95	0,84
	50	123,3	115,8	194,3	0,69	165,7	139,7	148,8	0,76	0,93	0,82
	60	120,8	110,9	186	0,67	168,4	139,9	147,4	0,77	0,89	0,82

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Оранжевый	0	229,4	161,4	92,5	0,77	208,5	161,8	142,6	0,86	1,00	1,00
	5	230,5	161,3	90,3	0,63	204,9	159,6	139,3	0,85	0,81	0,99
	10	226,1	157,8	90,3	0,76	203,9	158,1	134,3	0,83	0,99	0,97
	20	231,1	159,4	92,2	0,77	204	154,4	129,8	0,82	1,00	0,95
	30	230,3	176,8	89,8	0,65	203,7	156,7	133	0,83	0,85	0,96
	40	228,5	157,5	87,7	0,76	199,8	155,1	130,1	0,82	0,99	0,95
	50	224,2	164,3	104,2	0,79	200,8	156,2	133,8	0,83	1,02	0,96
	60	223,4	148,8	78,1	0,72	200,3	154,2	129,5	0,81	0,94	0,95
Желтый	0	224,6	211,6	102,7	0,86	208,5	161,8	142,6	0,81	1,00	1,00
	5	222,2	207,2	105,7	0,86	204,9	159,6	139,3	0,81	1,00	1,01
	10	219,8	204,1	100,5	0,84	203,9	158,1	134,3	0,80	0,98	0,99
	20	222	213,1	105,2	0,87	204	154,4	129,8	0,80	1,01	0,99
	30	223,8	215,9	104,3	0,87	203,7	156,7	133	0,80	1,01	0,99
	40	220,7	212,9	100,1	0,85	199,8	155,1	130,1	0,80	0,99	0,99
	50	221	215	102,4	0,86	200,8	156,2	133,8	0,80	1,00	0,98
	60	222,3	210	106,9	0,86	200,3	154,2	129,5	0,79	1,00	0,98
Салатный	0	199,5	194,9	183,3	0,93	177,2	173,1	175,2	0,88	1,00	1,00
	5	194,5	188,7	176,3	0,90	171,3	168,1	170,7	0,86	0,96	0,97
	10	200,9	194,2	180,9	0,92	170,9	172,7	175,3	0,87	0,99	0,99
	20	196,6	191,5	176	0,90	170,3	166,4	167,4	0,85	0,97	0,96
	30	198,4	193,2	177,8	0,91	172,9	169,9	171,9	0,87	0,98	0,98
	40	194,8	198,8	177,2	0,91	167,9	165,8	167,5	0,84	0,98	0,96
	50	183,3	181,6	175,1	0,86	172,4	167,6	166,8	0,85	0,93	0,97
	60	178,2	175,5	168,6	0,84	170,3	165,2	163,6	0,84	0,90	0,95

Пигменты разного цвета в образцах бумаги проявляют различную стойкость к облучению. Например, бумага темно-коричневого цвета из набора 1 проявила наибольшее изменение параметров цветности на 79 % по данным iOS (рис. 2), а в наборе 2 наименее стойким оказался синий цвет, $F'_{\text{сум}}$ возросла по оценке iOS на 39 %. Следует отметить, что $\Delta F'_{\text{сум}}=1,0$ означает, что суммарная интенсивность окраски за весь период облучения не изменилась, но соотношение интенсивностей F_R , F_G и F_B при равенстве их суммы, как показывают данные таблиц 1, 2, отличается. В этом случае дополнительную информацию о процессах, происходящих с пигментами, дает динамика изменения отдельных цветовых компонент.

Белая бумага, выбранная в качестве эталона сравнения, также подверглась УФ - облучению, в результате которого она потемнела на 30% от первоначальной белизны (рис.3). Окраска 9 из 16 образцов цветной бумаги 1 при облучении стали более светлых тонов, и 2 из 10 бумаги 2 соответственно. Это свидетель-

ствует о том, что не только пигменты, но и бумажная основа окисляется под действием УФ - облучения. Если темные краски выцветают («выгорают»), как, например, темно-коричневая или черная, то на фоне желтой и розовой окраски просматривается результат воздействия на компоненты бумажной основы.

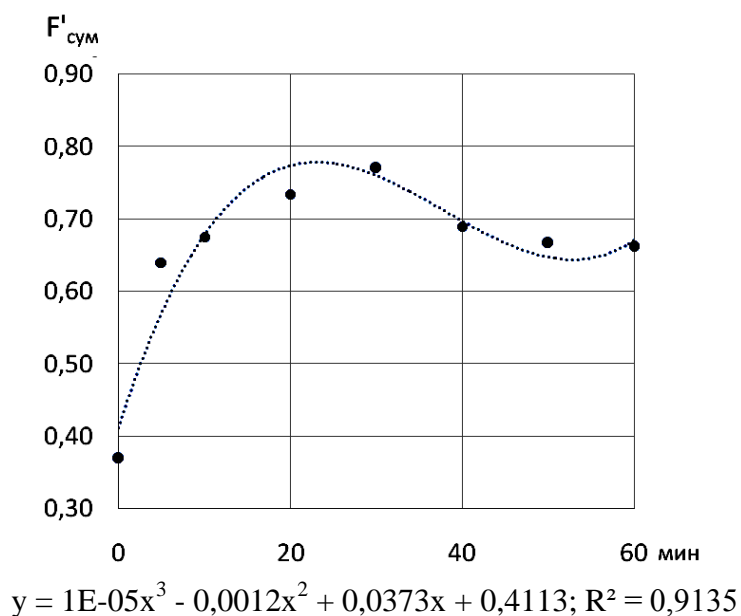


Рис.2. Зависимость относительной суммарной интенсивности $F'_{\text{сум}}$ темно-коричневой бумаги от времени УФ – облучения

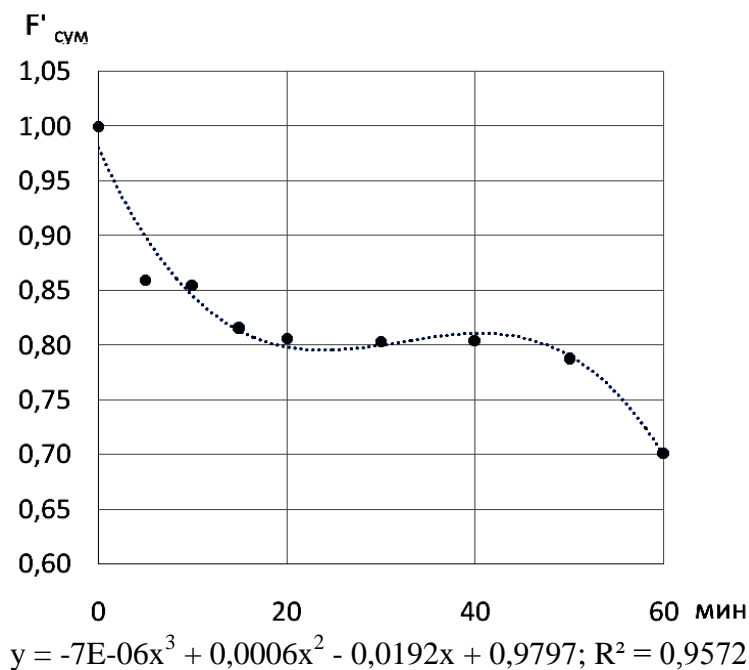


Рис.3. Зависимость относительной суммарной интенсивности $F'_{\text{сум}}$ белой бумаги от времени УФ - облучения

Заключение. Смартфоны могут быть использованы для количественной оценки динамики изменения параметров цветности цветной и белой бумаги при изучении влияния УФ - облучения на качество бумаги.

Параметры цветности при искусственном старении цветной бумаги изменяются нелинейно, зависимости относительной суммарной интенсивности цвета в цветовой системе RG Вот времени облучения описываются адекватно полиномиальными уравнениями 3-й степени.

Цифровые камеры смартфонов разных производителей заметно отличаются по показателям цветопередачи, следует отдавать предпочтение более совершенным моделям смартфонов при использовании их в цветометрических измерениях. Таким образом, остается проблема обеспечения единства цветометрических измерений мобильными цветорегистрирующими устройствами.

Список литературы

1. Амирова Н.В. Коллаж из цветной бумаги: Учебно-методическое пособие для детских художественных школ и художественных отделений школ искусств. Саратов: Вузовское образование, 2018. 63 с.
2. Черноусова О.В., Рудаков О.Б. Цифровые изображения в аналитической химии для количественного и качественного анализа // Химия, физика и механика материалов. 2019. № 2(21). С. 55-125.
3. Использование бытовых цветометрирующих устройств в количественном химическом анализе / В.В. Апяри [и др.] // Журн. анал. химии. 2017. Т.72. №11. С. 963-977.
4. Черноусова О.В., Рудаков О.Б., Садыков С.О. Контроль содержания пигментов в цветных цементах с помощью мобильных устройств // Строительные материалы. 2020. № 9. С. 21-26.
5. Ассортимент и групповая характеристика потребительских свойств канцелярских товаров https://vuzlit.com/245586/assortiment_grupповaya_harakteristika_potrebitelskih_svoystv_kantselyarskih_tovarov).

6. Программное обеспечение контроля цветности пигментов строительного назначения с помощью смартфонов / А. Мохамед, О.В. Черноусова, Я.О. Рудаков [и др.] // Проблемы и инновационные решения в химической технологии ПИРХТ-2022: материалы всероссийской конференции с международным участием, Воронеж, 13–14 октября 2022 года. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2022. С. 277-285.

7. Хроматографический контроль качества и безопасности канцелярских товаров / Я. О. Рудаков, М. Аббуд, О. Б. Рудаков, А. М. Хорохордин // Химия, физика и механика материалов. 2022. № 3(34). С. 22-37.

8. Аббуд, М. Контроль цветности цементов с помощью программного обеспечения смартфонов / М. Аббуд, О.В. Черноусова, О.Б. Рудаков // Инновационные материалы и технологии: Сборник заочных докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых, Минск, 21–23 марта 2023 года. Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2023. С. 205-207.

9. Аббуд, М. Валидация программного обеспечения смартфонов для контроля пигментов в цементах и бетоне / М. Аббуд, О.В. Черноусова, О.Б. Рудаков // Общество, образование, наука: современные тренды: Сборник трудов по материалам II Национальной научно-практической конференции, Керчь, 23–24 декабря 2022 года / Редколлегия: Е.П. Масюткин [и др.]. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2022. С. 15-20.

10. Программное обеспечение контроля цветности пигментов строительного назначения с помощью смартфонов / А. Мохамед, О.В. Черноусова, Я.О. Рудаков [и др.] // Проблемы и инновационные решения в химической технологии ПИРХТ-2022: материалы всероссийской конференции с международным участием, Воронеж, 13-14 октября 2022 года. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2022. С. 277-285.

References

1. Amirova N.V. Collage of colored paper: An educational and methodological guide for children's art schools and art departments of art schools. Saratov: University Education, 2018. 63 p.
2. Chernousova O.V., Rudakov O.B. Digital images in analytical chemistry for quantitative and qualitative analysis // Chemistry, physics and mechanics of materials. 2019. No. 2(21). P. 55-125.3.
3. The use of household color-measuring devices in quantitative chemical analysis / V.V. Apyari [et al.] // Journal. anal. chemistry. 2017. Vol.72. No. 11. P. 963-977.
4. Chernousova O.V., Rudakov O.B., Sadykov S.O. Control of pigment content in colored cements using mobile devices // Building materials. 2020. No. 9. P. 21-26.
5. Assortment and group characteristics of consumer properties of stationery https://vuzlit.com/245586/assortiment_gruppovaya_harakteristika_potrebitelskih_svoystv_kantselyarskih_tovarov).
6. Software for color control of pigments for construction purposes using smartphones / A. Mohamed, O.V. Chernousova, Ya.O. Rudakov [et al.] // Problems and innovative solutions in chemical technology PIRHT-2022: materials of the All-Russian conference with international participation, Voronezh, October 13-14, 2022. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2022. P. 277-285.
7. Chromatographic quality control and safety of stationery / Ya. O. Rudakov, M. Abbud, O. B. Rudakov, A.M. Khorokhordin // Chemistry, physics and mechanics of materials. 2022. No. 3(34). P. 22-37.
8. Abbud, M. Control of cement color using smartphone software / M. Abbud, O.V. Chernousova, O.B. Rudakov // Innovative materials and technologies: Collection of correspondence reports of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Minsk, March 21-23, 2023. Minsk: Belarusian State Technological University, 2023. P. 205-207.

9. Abbud, M. Validation of smartphone software for pigment control in cements and concrete / M. Abbud, O.V. Chernousova, O.B. Rudakov // Society, education, science: modern trends: Proceedings of the II National Scientific and Practical Conference, Kerch, December 23-24, 2022 / Editorial Board: E.P. Masyutkin [et al.]. Kerch: Kerch State Marine Technological University, 2022. P. 15-20.

10. Software for color control of pigments for construction purposes using smartphones / A. Mohamed, O.V. Chernousova, Ya.O. Rudakov [et al.] // Problems and innovative solutions in chemical technology PIRHT-2022: materials of the All-Russian conference with international participation, Voronezh, October 13-14, 2022. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies, 2022. P. 277-285.

Рудаков Олег Борисович – д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии Воронежского государственного технического университета

Аббуд Мохамед – аспирант факультета радиотехники и электроника Воронежского государственного технического университета

Матюхин Данила Тарасович – студент группы БХТ-201, факультета радиотехники и электроника Воронежского государственного технического университета

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 691

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОЛИ-
МЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

О.Л. Фиговский¹, О.Б. Кукина^{2}, Т.А. Чудина²*

¹*Международный научно-исследовательский центр нанотехнологий
«Полилат», Израиль, 34750, Хайфа, ул. Шимкина, 3а*

²*Воронежский государственный технический университет
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Кукина Ольга Борисовна, E-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

Возрастающие сложности в разработке новых огнезащитных покрытий сдерживают привлечение частных инвестиций и тормозят прогресс инноваций. Обзор дает общую картину исследований, конкретно иллюстрирует необычайное разнообразие их направлений и объясняет внутреннюю причину такого разнообразия. Целью данного обзора является создание информационной основы для критического анализа целесообразности частных инвестиций в разработки в этой области и показ некоторых возможных путей. Широкий выбор конкретных компонентов огнезащитных покрытий и разнообразие механизмов, которые они используют, приводят к факторному числу возможных комбинаций. Разнообразие свойств этих компонентов и сложность их взаимодействия затрудняют однозначную оценку результатов их выбора без проведения экспериментов при разработке новых материалов. Поэтому уверенное предсказание результатов новых исследований является чрезвычайно сложной задачей. Как следствие, существует широкий спектр направлений и поднаправлений текущих разработок. Подведение итогов этих исследований осложняется еще и сложностью испытаний материалов на параметры старения и устойчивость к внешним воздействиям. Высокая неопределенность прогнозирования перспектив конкретных разработок стимулирует развитие методов моделирования композиций и технологий изготовления покрытий, а также прогнозирования

их эффективности и т.д. Однако эти методы обеспечивают лишь частичное повышение достоверности ожиданий. Для обоснования венчурных инвестиций рекомендуется более тщательное составление технико-экономического обоснования. Одним из дополнительных подходов, способных повысить его авторитет, является использование нетрадиционных специализированных методов исследования патентной информации.

Ключевые слова: огнезащита, строительные материалы, полимеры

ASSESSMENT OF THE STATE OF APPLICATION OF FLAME-RETARDANT POLYMER MATERIALS IN CONSTRUCTION

O.L. Figovskiy, O.B. Kukina*, T.A. Chudina

Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktiabria, 84

**Correspondence address: Kukina Olga Borisovna, E-mail: u00136@vgasu.vrn.ru*

Increasing difficulties in the development of new flame-retardant coatings hinder the attraction of private investment and hinder the progress of innovation. The review gives a general picture of research, specifically illustrates the extraordinary diversity of their areas and explains the internal reason for such diversity. The purpose of this review is to create an information basis for a critical analysis of the feasibility of private investment in developments in this area and to show some possible ways. A wide selection of specific components of flame retardant coatings and the variety of mechanisms they use lead to a factorial number of possible combinations. The variety of properties of these components and the complexity of their interaction make it difficult to unambiguously assess the results of their selection without conducting experiments in the development of new materials. Therefore, confidently predicting the results of new research is an extremely difficult task. As a result, there is a wide range of directions and subdirectories of current developments. Summing up the results of these studies is also complicated by the complexity of testing materials for aging parameters and resistance to external influences. The high uncertainty of forecasting the prospects of specific developments stimulates the development of methods for modeling compositions and coating manufacturing technologies, as well as forecasting their effectiveness, etc. However, these methods provide only a partial increase in the reliability of expectations. To justify venture invest-

ments, a more thorough preparation of a feasibility study is recommended. One of the additional approaches that can increase its credibility is the use of non-traditional specialized methods of patent information research.

Keywords: fire protection, building materials, polymers

Введение. In the field of fire-protective coatings, numerous research efforts worldwide have yielded significant achievements and demonstrated promising ideas, approaches, compositions, and structures. However, when evaluating the feasibility of investing in a specific project or research, objective doubts inevitably arise in space where reliable prognostic answers are lacking. These uncertainties ultimately raise the question of whether a particular development has a competitive future or not.

This challenge is particularly pronounced in any area where extensive research is supported by government funding through universities, and qualified scientific papers showcase the potential of such research.

This situation is particularly relevant in the field of providing fire-protective properties to polymers, including the development of flame retardant coating properties.

Modern fire-protective coatings need to meet a complex set of functional and environmental requirements [1]. This leads to significant challenges in the development of new coatings. On one hand, there are numerous publications on new developments, each providing certain achievements and aiming to meet regulatory requirements such as environmental safety, while also demonstrating potential for further advancement. On the other hand, progress in coatings that have found widespread application has been relatively slow in recent years.

Therefore, it is not surprising that experts have expressed the opinion that the industry as a whole develops at a slow pace, and it may be challenging to accelerate this development.

The acceleration of development in any innovative technology is closely tied to private investment. How should one approach the selection of directions and devel-

opments capable of ensuring a financial return? Are there methods or approaches that can be employed to identify the most promising directions for focusing efforts and allocating funding with a higher degree of reliability than the commonly accepted practices? Some approaches capable of enhancing credibility of a venture project feasibility study, including unconventional specialized methods for researching patent information, are presented in [2,3].

The high demand for advancements in fire-protective coatings holds significant potential for accelerating their development. However, to achieve this, it is essential to increase private capital investment by enhancing the reliability of investment object selection.

This review can provide guidelines to be used as foundational or supplementary information when analyzing the feasibility of investments in specific projects within the field of fire-protective coatings. The examples provided primarily focus on the protection of solid materials, but the approaches and compositions for protecting soft materials (such as woven and non-woven fabrics, foams, etc.) are similar.

Several published reviews have outlined directions and sub-directions that the authors consider to be priorities, and their assessments are valid. However, these proposals generally encompass a broad range of developments within each direction, making them less instrumental, that is less specific and actionable. Furthermore, despite the long-standing recognition of these priorities, progress is still lagging. Therefore, it may not always be advisable to solely rely on previously established viewpoints.

The specific features of requirements for fire-protective coatings

The main trends in the development of innovations in the coatings industry are generally aimed at meeting the following common requirements, combined with improving specific functionality [1]:

- **Increase in Durability** Enhancing the durability of coatings is crucial to ensure that products maintain their quality over an extended period, even when exposed

to adverse environmental conditions. Factors such as moisture, UV radiation, heat, cold, and weathering can potentially degrade the surface of coatings, leading to issues like swelling and cracking.

- **Regulatory requirements: health and wellness considerations**

The matter of substituting chemicals that present health and wellness challenges, encompassing the reduction of volatile organic compound (VOC) emissions and other eco- and health-related concerns.

- **Sustainability: increasing ecological demands** There is a growing emphasis on the ability to recycle materials and minimize harmful emissions throughout the process.

- **Growth in demands for antimicrobial, anti-mold, and antiviral properties.**

This demand is of utmost importance in healthcare and food packaging industries. Moreover, these properties also play a crucial role in long-term used construction components, where preventing microbial growth and mitigating viral transmission are essential considerations.

The combination of required properties poses significant challenges in the development of new coatings: often, one of these requirements contradicts the others. Enhancing such characteristics involves overcoming multiple contradictions simultaneously, ensuring that improvements in one aspect do not compromise the others.

Moreover, each of the key requirements encompasses several qualitative features, leading to additional conflicts in innovation development. For instance, the antimicrobial properties of protective coatings for hospitals must also satisfy the demands for non-toxicity, non-carcinogenicity, and non-teratogenicity under normal conditions.

The simultaneous increase in requirements for reducing volatile organic compounds (VOCs), energy and resource efficiency, use of renewable materials, non-toxicity during application and recycling poses significant challenges. These challenges also lead to a slowdown in the development of practical advancements in protective coatings for widespread use.

As a result, a proper assessment of the feasibility of funding innovations in this field is complex and highly pertinent.

Flame retardant coatings are required to possess a range of properties [4,5,6]:

- Ability to slow down flame propagation and high temperatures, and prevent the ignition of underlying substrates. This primarily involves low thermal conductivity, low flame spread, and preventing access of gas fuels and oxygen to the protected substrate.

- Resistance against ignition, melting, and nonflammability.

- Safety during combustion, with low or no emission of toxic VOCs and smoke.

- Ability to actively extinguish flames.

- Additionally, they should exhibit nearly all the properties expected from other types of coatings, such as mechanical resistance, high adhesion, durability, non-toxicity, environmental compatibility, and the ability to be recycled.

Frequently, meeting the essential fire-protective requirements can be at odds with other desired properties. Finding a balance between the conflicting demands is a challenging task for researchers and developers. It requires innovative approaches and careful selection of materials and formulations to achieve the desired fire protection performance without compromising other important characteristics.

For these reasons, the development of flame retardant coatings, like protective coatings in general, has not witnessed significant breakthroughs in recent times. The main directions of flame retardant coating development align with the overall trends in protective coatings. In recent years, the dominant focus has been on recyclability, the use of recycled materials, and the absence of harmful emissions during use and processing. Researchers strive to enhance the fire resistance performance against this backdrop.

In achieving these objectives, various challenges are addressed, including:

- Adding flame retardant properties to other functional characteristics of polymer materials. For instance, providing flame retardancy to scratch-resistant, self-healing, antimicrobial, or anti-corrosion coatings, as well as imparting scratch-resistant, self-healing, antimicrobial, or anti-corrosion properties to flame retardant coatings.

- Enhancing the stability of coating properties under environmental influences such as weathering, aging, and UV radiation.

- Improving the adhesion and adhesion stability of different types of coatings to various underlying materials requiring protection.

- Advancing the development of nanocomposite materials, including improving the effectiveness of their dispersion.

A significant factor is the increasing number of important functions and properties of coatings, their parameters, and the growing diversity of combinations of coating components and base materials. This stimulates the development of methods for simulating coating compositions, manufacturing technologies, predicting their effectiveness, and others.

Influence of development problems of fire-protective coatings on investment policy

All the aforementioned factors have an impact on the investment climate in this field. When it comes to venture capital investment in technologies, several factors are taken into account:

- Emerging trends in the field.

- Latest competing advancements in the field.

- Development stage of the specific project seeking investment.

- Various risks associated with the project.

- Probability of achieving the minimum required commercial success.

- Potential for the development of the technology and understanding of the pathways to achieve it.

- Probability of achieving a breakthrough.

- Amount of investment required, and others.

Depending on the investor's goals and policies, different factors may carry different weights. Regardless of the investor's priorities and policies, all these factors hold significance and need to be considered.

The objective of this article is to provide initial guidelines for comparing the feasibility of investing in various developments in this field.

Main concepts of modern flame retardant coatings

Methods for imparting fire-protective properties to polymer materials focus on preventing ignition, blocking flame propagation, or inhibiting heat transfer within the material. These methods vary depending on the type of material [7].

At a higher level, flame-retardant coatings can be categorized into two types: intumescent and non-intumescent [8]. The thickness of the coating film and the type of substrate significantly influence the rate of flame spread [9].

Intumescent coatings exhibit swelling when exposed to heat, forming a porous char layer that acts as a heat insulator. This char layer slows down the heat transfer between the hot gases and flames and the underlying protected material [10]. The intumescent coating can expand to a thickness up to 50 times its initial size [11].

Due to their superior flame-protective properties, intumescent coatings are often considered more promising than non-intumescent coatings, particularly for steel, wood, or hard mortar applications.

However, it should be noted that the durability of intumescent coatings poses challenges, as they may lack resistance to leaching, weathering, and aging [12]. These factors affect their long-term performance and reliability.

In [7], a comprehensive table outlines the principles of flame retardant systems based on material chemistry. These principles highlight the general mechanisms that flame-retardant coatings employ at high temperatures or during a fire:

- Inert (non-combustible) gas dilution: These coatings generate non-combustible gases that reduce the concentration of oxygen, combustible gases, and volatiles.
- Physical dilution: The concentration of the flammable material is reduced by incorporating fillers into the base material.
- Thermal quenching: Additives undergo endothermic degradation, which reduces the surface temperature of the underlying polymer.
- Chemical interactions: Retardant additives undergo thermal dissociation, producing radicals that neutralize combustible species in the gas phase.

- Protective char layer formation: Thermal decomposition leads to the formation of a protective char layer, which can be either intumescent or non-intumescent [13,14]. Intumescent materials are currently considered a priority direction for the development of new flame retardant coatings. Modern intumescent coatings often incorporate the mechanisms mentioned above.

Historically, significant achievements in flame retardancy have been made using halogen-based compounds. These compounds, particularly halogen radicals formed at high temperatures, effectively inhibit gas phase free radicals that sustain the fire. One suggested mechanism is the inhibition of the chain reaction involving active oxidative radicals by halogen radicals. This inhibits the exothermic reactions that produce energy, slows down flame propagation, and ideally extinguishes the fire [15].

To enhance the effectiveness of halogen-based flame retardants, advanced methods involve the use of compounds based on antimony, phosphorus, phenol, as well as metal hydroxides, zinc borate, and other compositions [16].

However, despite their efficiency and cost-effectiveness, halogen-based flame retardants do not meet modern requirements for health and environmental safety. During high-temperature exposure and burning processes, they emit harmful volatile fumes and smoke. Moreover, they pose challenges in terms of recycling and contribute to environmental issues. Consequently, they are not aligned with advancements in modern ecological regulations.

Main directions of progress in the composition of flame retardant coatings

Under normal environmental conditions, coatings should provide regular properties such as protection against external influences (waterproofing, wear resistance, anti-scratch, anti-corrosion, heat insulation, flame protection, antimicrobial properties), adhesion to the substrate, electromagnetic and optical parameters, absence of substance emissions into the air, and more.

The three main functional elements of fire-protective coatings are flame retardant additives (often referred to as flame retardants), binders, and fillers [7].

Flame retardants play a direct role in fulfilling the primary functions of fire-protective compositions, which include delaying the spread of flames, reducing heat

transfer to the protected substrate, preventing and delaying ignition and combustion, slowing down the dripping of melted plastics, and reducing smoke formation.

The main functions of binders include [7, 16]:

- Maintaining uniform dispersion of flame retardants, fillers, and other components within the binder matrix.
- Providing adhesion to the substrate material.
- Facilitating the formation of catalytically active structures in intumescent processes.

The binder properties directly influence the efficiency of flame retardant coatings.

Fillers play important roles in flame retardant systems [7], providing the following functions:

- Reducing thermal conductivity, which slows down the spreading of heat.
- Modifying material viscosity to reduce the melt dripping of polymers.
- Absorbing a portion of the heat through their thermal degradation, thereby reducing or slowing down further temperature degradation. In this aspect, fillers function similarly to flame retardant additives.

Moreover, fillers can have specific and highly effective functions in intumescent coatings:

- Reducing the average diameter of gas cells formed in intumescent flame retardant coatings, which leads to a char layer with reduced heat transfer and enhanced protective abilities.
- Increasing the expanding abilities of the coating, particularly applicable to expandable fillers like graphene.
- Intensifying the formation of carbonized char.

Some fillers possess additional functions of their own. For example, metal hydroxides that emit water under high temperatures function as flame retardants and are sometimes referred to as such. Conversely, non-reactive flame retardants that remain as particles in the composition are sometimes referred to as fillers.

The choice of components for flame retardant coatings is greatly influenced by the type of underlying material (substrate). Different flame retardants, fillers, and ad-

ditives are required to protect wood, steel, fabric, thermoplastic, and thermoset polymers [17, 18].

The substrate, along with the flame retardant coating, forms a flame retardant system that should demonstrate durability and robustness in various applications such as industrial, architectural, transport, cables, textiles, etc. It should also be able to withstand corresponding environmental conditions, including indoor or outdoor application, temperature and moisture ranges, exposure to microbiota, chemicals, UV, etc.

Each component in the flame retardant system affects the coating's ability to adhere to the substrate and the final properties of the coating. Each component plays a specific or multifunctional role in providing durability and robustness. The final properties for different applications also depend on the interactions between the components in the formulation. There are various components in each flame retardant system, and there are complex processes that occur when they come into contact with high temperatures or flames [19,20].

Therefore: a) Current research is focused on gaining new knowledge about polymers and compounds with flame retardant properties.

b) The methods of simulation, proper testing, and data analysis are crucial in the development of modern flame retardant systems. The ability to use these methods should be considered when discussing investments.

Through these paths, more advanced materials are being created. The ongoing progress leads to an inevitable convergence with practical applications.

However, achieving significant breakthroughs or progressive pivotal points still requires some time.

When evaluating the feasibility of investing, it is crucial to carefully consider the risks versus the potential benefits. Investors should thoroughly assess the potential of the new technology or platform compared to existing, well-established solutions.

The following sections present ingredients of flame retardant systems that have demonstrated notable robustness to date, categorized based on their non-bio (conventional) or bio-based origin. Conventional origin refers to chemicals derived from

mineral or petroleum/gas materials, while bio-based origin encompasses any bio-mass-derived sources.

One of the most significant trends in the field is the transition from conventional or «non-bio» materials to bio-based alternatives.

Progressive non-bio FRs

Some of the most effective conventional, non-bio additives that show great promise as a foundation for new developments include phosphorous-based compounds such as ammonium polyphosphate, melamine, and melamine-polyphosphate [7, 12, 21]. Additionally, pentaerythritol phosphate alcohol, polyphosphonate, siloxane, polysiloxane [7], and dihydro-phosphaphenanthrene oxide derived compounds [22] are also regarded as highly effective additives.

In addition to the mentioned additives, there are many other additives that remain under consideration, including long-standing ones like magnesium and aluminum hydroxides, which also function as fillers, boric acid and its salts, and others.

To illustrate the challenges in making the right investment choice in innovation, we can take the example of melamine. Alongside ammonium polyphosphate and pentaerythritol, melamine has become a commonly used industrial intumescent flame retardant. It serves as an excellent example of a modern, multifunctional component in flame retardant systems. Melamine exhibits favorable eco-properties, such as low toxicity and environmental safety [23], as well as low smoke density [24], and cost-effectiveness [25]. Moreover, it offers advantages in corrosion resistance [26]. It demonstrates high specific efficiency when used in fire-protective coatings, particularly in intumescent coatings. This is attributed to its multi-mode mechanisms that interfere with the flame process at all stages. Melamine presents numerous opportunities for various synergies in flame retardant applications.

Indeed, when considering melamine, it is also important to take into account the possibilities offered by its extensive family of derivatives and homologues. This includes its salts with organic or inorganic acids, such as phosphoric, boric, cyanuric, pyro/polyphosphoric acid, as well as its homologues like melam, melem, and melon

[26]. The potential for new combinatory developments based on melamine is vast, offering numerous opportunities for further exploration and innovation.

At this, it should be noticed that the possibilities of its numerous family of derivatives and homologues is to be taken into account: its salts with organic or inorganic acids, such as phosphoric, boric, cyanuric, pyro/polyphosphoric acid, and its homologues (melam, melem, melon) [26].

Nevertheless, it is important to recognize that despite its benefits, multifunctionality, and practical workability, melamine has not provided yet a significant breakthrough. There are still a huge number of options and possibilities to be explored to determine whether melamine can eventually become a game-changer in this area. Thorough evaluation of its potential still requires extensive research, and there is no guarantee of a breakthrough.

Similar conclusions can be drawn about many other promising agents in the field, for example the recently synthesized DOPO (9,10-dihydro-9-oxa-10-phosphaphenanthrene-10-oxide) and its modifications [22].

Therefore, in general, when investing is analyzed, a comprehension of whether the innovators possess methods to choose right direction or not should be important. Another issue of priority is whether they possess methods for proper advanced and fast testing. This may become crucial, especially when the long-term stability, non-emitting VOCs, resistance to weathering and ageing are critical to the supposed applications.

Progressive non-bio binders

Some conventional binders that appear to be the most effective and promising as a foundation for new developments, particularly in combination with effective halogen-free additives, include ethylene vinyl acetate and its homopolymers and copolymers [27], dibutyl maleate, esters of branched carboxylic acids [16], various epoxy resins, polyamides [7,28,29,30], acrylic, and urethane [31].

Extensive research has been conducted over the past two decades on the best conventional non-bio binders, exploring their hybridization with other effective constituents.

For instance, a publication [32] as old as in 2006 demonstrated attempts to improve compositions based on one of the most promising binders, acrylic binder, by incorporating other effective constituents such as melamine, ammonium polyphosphates, and nanofillers. However, despite these efforts, many challenges in this area still remain unresolved.

On the other hand, there are examples that illustrate the significant impact of combining known techniques. Despite polyamide being a well-studied binder, recent discoveries have revealed numerous novelties in its usage. Various synergistic combinations of polyamide-6 or polyamide-6,6 with other polymers, flame retardants, and fillers have been disclosed in recent years [29,30,33]. In 2022, a significant synergistic effect was reported with the addition of polyphenylene oxide to polyamide-6,6 [34]. This highlights the potential for significant improvements in fire protection systems using the best binders. However, finding new ways to surpass previous achievements is not an easy task.

Even well-known basic binders can still be considered promising for the development of new coatings through hybridization with other effective constituents. Therefore, exploring novel hybridization approaches with established binders holds potential for advancing flame retardant technologies.

The examples provided suggest that there are three general approaches that can lead to progress in the field of flame retardant coatings:

- searching for new synergistic combinations of known ingredients
- discovering new promising ingredients
- utilizing progressive technologies for coating application processes.

The first approach can be exemplified by the synergistic effect observed in the combination of a DOPO-based flame retardant and melamine, reinforced with nano-silica as a filler [35]. This combination demonstrates improved flame retardant properties compared to individual components, highlighting the potential for synergistic interactions between additives and fillers in enhancing the fire resistance of coatings.

The second approach involves the exploration of new modifications of bio-based compounds. As the industry increasingly focuses on sustainable and environmentally

friendly solutions, there is a growing interest in bio-based additives and binders for flame retardant coatings. Researchers are actively developing and testing modified versions of bio-based compounds to improve their flame retardancy and compatibility with other components.

In both cases, having effective tools for scientific prediction of the properties and performance of new hybrid compositions is crucial. Accurate prediction methods can aid researchers in assessing the potential efficacy of novel combinations and guide decision-making processes when investing in innovations in this field.

Progressive non-bio fillers

Non-bio fillers play a crucial role in flame retardant coatings, and their properties, such as nature, size, and surface modification are key factors in determining their functionality. Different fillers have specific functions and mechanisms for their effective operation in flame retardant systems.

One important function of fillers is to absorb heat through their temperature decomposition. By absorbing and dissipating heat, fillers help prevent the spread of flame and contribute to the overall fire resistance of the coating. Additionally, certain fillers can release distinguishing substances that aid in extinguishing the flame or inhibiting its spread.

Fillers also serve other important purposes. They can help prevent the leaching of other agents, thus prolonging the durability of the coating and reducing the effects of aging. They can suppress smoke formation, reducing the dense and toxicity of smoke generated during a fire. Fillers can also reduce the dripping of the melt polymer base, which is essential for preventing the spread of fire and protecting the underlying materials.

Furthermore, fillers can enhance the adhesiveness of the coating to the protected material, ensuring its effectiveness in providing fire protection. They can contribute to the formation of a char protective layer, including intumescent chars, which act as a barrier against heat and flame. Some fillers are even considered "flame retardants" due to their inherent ability to fight against flames efficiently. Metal hydroxides, for

example, release a high volume of water when heated, while lignin-based particles are effective in forming char under high temperatures.

Another important aspect is the synergistic effect that many fillers can have when combined with other components in flame retardant coatings. In hybrid synergistic combinations, fillers enhance the overall performance of the coating.

The wide range of available fillers provides a variety of their functions and mechanisms in their interaction with other components. It is precisely their interaction with base polymers and flame retardants that determines the selection of specific fillers to maximize the fire protection characteristics of coatings.

In modern developments, there is a focus on achieving synergistic effects through interactions between components. Therefore, combinations of different fillers are often used.

A trend has emerged in the use of fillers with complex structures.

This is well illustrated, for example, by the utilization of a filler combination comprising a relatively new agent, two-dimensional nanofillers of graphene oxide, and Mg-Al layered double hydroxides in a polyurea composite coating with modified ammonium polyphosphate as the flame retardant (FR) [36]. The results obtained demonstrate remarkable flame-retardant and fire-protective performance, a strong mechanical strain rate effect, and enhanced bonding between the polyurea polymer and the underlying steel.

As the industry increasingly moves towards bio-based compositions, the challenges related to the implementation of fillers become more complex in order to meet the efficiency requirements of modern consumers.

Trend towards bio-based flame retardant coatings

The use of biomaterials to create eco-friendly and non-hazardous coatings is considered one of the main trends in the coatings industry. This trend is driven by the increasing regulatory demands for ecological and human health considerations. Bio-based coatings offer several advantages in this regard, including low toxicity, renewability, and ecological compatibility.

As a result, there is a growing importance placed on the development of novel and efficient bio-based polymers, flame retardants, and other agents.

The shift from conventional, non-bio flame retardant coatings to sustainable bio-based coatings aims to meet economic, health, and ecological demands. However, there are specific challenges in implementing this trend in fire-protective coatings. One challenge is the relatively high flammability of biopolymers. Another challenge is their high hydrophilicity, which can affect their performance as coatings [12].

Research is being conducted on bio-based coatings for all three main constituents: flame retardant additives, which are crucial for the fire retardancy of the coating system, binders, and fillers. Additionally, the nature of the underlying material being protected also significantly influences the efficiency of the coating.

Bio-based flame retardants

Some research studies highlight the utilization of modified lignin, cellulose, polysaccharides, proteins, lipids, and chitosan macromolecules [37,38,39,40] in coatings intended for various substrates such as wood, steel, concrete, and fabric.

Other researchers are specifically focusing their efforts on developing sustainable biobased flame retardants (FRs) for plastic applications. These include substances such as phytic acid, tannic acid, isosorbide, diphenolic acid, deoxyribonucleic acid (DNA), β -cyclodextrin, metallic phytates, coffee/phosphorous modified particles, and various others [21, 44].

Here, we will leave aside some mix in terminology, when the same agent is sometimes referred as FR, and in other cases as a filler. This happens, for example, with metal hydroxides. These well-known fillers are sometimes called as FRs because their intensive flame-retarding action on producing water at high temperatures. Similarly, lignin- or starch-based additives are sometimes called as “fillers”, but they are quite often called as “flame retardants” because of their high ability to form char layer and do other functions. For this reason, we would call them “flame retardants”.

Out of all the bio-based fiber polymers, lignin is very effective for use in FR additives/fillers for the coatings due to its highly aromatic structure which provides effective charring at high temperatures, e.g. lignin-diethylenetriamine/red phosphorus na-

noparticles [41]. Lignin -based fire-protective agents are especially effective in combination with hemicellulose. The similar effects were obtained with starch [37].

When considering various types of additives, organophosphorus flame retardants continue to receive significant attention [37,42]. Their effectiveness is further enhanced when combined with nitrogen, sulfur, boron, or silicon components. Organophosphorus flame retardants derived from biomaterials hold great promise due to the inherent advantages of bio-based materials. Moreover, they are less likely to face unforeseen restrictions in the future due to their eco-friendly properties. Additionally, the combination of phosphate-based components with nitrogen and/or silicon-based components has demonstrated synergistic effects [22,43,44]. For instance, isosorbide derived from starch can serve as a highly effective platform for the development of various phosphorus flame retardants [39,40]. Another example is the utilization of a novel phosphorus-containing furan-based epoxy curing agent as a flame retardant [45]. Furthermore, DOPA-modified flame retardants [22] have shown a wide range of opportunities for further advancement. Numerous other modifications of organophosphorus compounds are also being explored.

One more important point into this pull is the ability of organophosphorus-based flame retardants to provide and enhance intumescent coatings [46].

Above that, the chemistry of phosphorus-based flame retardants holds significant potential that is yet to be fully explored, owing to its wide and extensive applicability to various materials. This potential is further amplified by the broad range of reactivity exhibited by compounds of this nature.

This aspect is often highlighted when discussing polymers as bulk materials, rather than coatings, where flame retardant compositions are introduced to provide flame retardant properties directly to the product or bulk layer. It is well-known that reactive additives are generally effective for thermosetting plastics, while non-reactive additives perform better in thermoplastic polymers. [44].

An effective lignin-based phosphate–melamine FR was presented in [21].

Lignin exhibits flame retardant properties in both the gas and condensed phases. It enhances the performance of other flame retardants and plays a leading role in the

formation of char [47]. The synergistic combination of lignosulfonate with ammonium polyphosphate (APP) results in producing of a stable carbon layer. Additionally, non-combustible gases such as NH₃ and H₂O are generated at high temperatures, thereby reducing the oxygen concentration [48].

Another example is the utilization of carboxymethyl chitosan microencapsulated melamine polyphosphate as a flame retardant (FR) in thermoplastic polyurethane coatings [49]. In this case, chitosan serves as a multifunctional additive, working in conjunction with melamine polyphosphate to provide flame retardancy. Chitosan executes several functions, including:

- improved compatibility: the hydrophobic structure of chitosan enhances the compatibility between melamine and the polymer matrix, facilitating the uniform dispersion of the FR throughout the matrix.

- intumescent char formation: chitosan contributes to the formation of intumescent char layers during combustion. These char layers create a protective barrier that helps to reduce heat transfer and inhibit flame spread.

- water resistance: chitosan imparts high water resistance to the thermoplastic material, further enhancing its durability and fire protection properties.

Another promising bio-based FR is phytic acid. It can enhance the matrix's catalytic charring and inhibit the combustion process due to its own phosphate groups [50]. Many new FRs were synthesized based on phytic acid [50,51].

One more promising bio-based FR is tannic acid. It provides several flame retardant mechanisms, leading to carbonization to form a protective carbon layer [52] and to generation of radicals which neutralize the radicals supporting combustion process, and so create distinguishing effect [53,54]

Yet one more promising bio-based FR is β -cyclodextrin. Its polyhydroxy structure defines its flame retardant mechanism. Cyclodextrin is dehydrated and carbonized during combustion to produce a large amount of carbon residue.

For example, a new type of cyclodextrin microencapsulated ammonium polyphosphate provides a synergistic effect of high carbonization ability and generating high volume of NH₃ and H₂O resulting in effective flame retardance [55].

Other bio-based flame retardants, such as those derived from starch, sodium alginate, proteins, DNA, and others, are also subjects of ongoing research.

Bio-based binders

Some specific research has been dedicated to addressing the challenges of combining flame retardants (FRs) with coat adhesives, including the exploration of suitable bio-based adhesives. It is worth noting that all bio-based polymers are inherently flammable, necessitating the use of flame retardants to enhance their flame resistance.

Incorporating bio-based FRs into bio-based binders enables the development of fully bio-based coatings and even construction materials.

It is important to mention that bio-degradable composites are sometimes referred to as bio-composites, regardless of their actual origin.

There are two main strategies for utilizing bio-based binders and polymers to improve flame retardancy [49].

The first approach involves using specific biopolymers such as modified lignin, cellulose, chitosan, starch, starch-derived cyclodextrins, polylactides, polyhydroxyalkanoates, polyamide-11, among others. For instance, in a specific study [21], α -cellulose and β -cyclodextrin were investigated as binders for flame retardant systems.

The second approach focuses on polymers similar to petrochemicals but derived from natural raw materials such as bio-based polyurethanes, epoxy resins, acrylic resins, and others.

At present, both strategies have their own advantages and disadvantages, leading to ongoing and intensive research in the field.

The aim of these studies is to develop bio-based binders and polymers that effectively enhance flame retardancy, leading to safer and more sustainable coating materials.

Currently, polylactic acid (PLA) based composites are being widely used in industry. An interesting example is the flame retardant system of bio-composite polylactic acid-thermoplastic starch, enhanced through glycerol phosphate treatment of the starch, and reinforced by modified flax fibers [56]. It demonstrates high flame re-

tardancy parameters, and also well-balanced strength and stiffness. This system acquires even more advanced characteristics after introducing ammonium polyphosphate.

More recently, another interesting approach to improvement of PLA-based bio-composites was published [57]. There was implemented the Layer-by-Layer (LbL) method for the simultaneous improvement of the flame retardancy and the mechanical properties of PLA-based coating bio-composites. The LbL technique was used to modify the surface of the protected material using a four-layer structure of chitosan, sepiolite, and ammonium polyphosphate. Flame retardancy was significantly improved.

Similar to PLA, polyhydroxyalkanoates (PHAs) are polyesters derived from bio-based resources. Differing from PLA derived from plants, PHAs are produced by bacteria. PHAs are used to develop biodegradable composites, particularly in combination with other polymers [58,59].

Polyamide-11 is another bio-based adhesive that is utilized in flame retardant systems. The inherent fire resistance of pristine polyamide-11 is limited, so its flame retardancy is achieved through the incorporation of flame retardants and nanofillers, often in conjunction with another binder such as polylactic acid [50,60].

Bio-based polyurethanes are also an area of continuous research. One intriguing example is the incorporation of flame retardants during the synthesis of polyurethane. Flame retardants are introduced into bio-based polyols derived from sources such as soybean oil, orange peel oil, and castor oil [50].

Epoxy resins are widely recognized thermoset polymers that are effectively used as binders in flame retardant coatings [7]. There are ongoing research endeavors focused on substituting petrochemical-derived epoxies with environmentally friendly epoxy resins derived from biomass sources [61,62].

The issue of aging

An additional challenge that complicates and prolongs the development process is the issue of aging, particularly for outdoor applications. The impact of aging on polymers and flame retardant systems, including their durability and flame resistance

under various conditions such as temperature, thermo-oxidation, moisture, UV radiation, ionizing radiation, chemical solvents, and physical stress, has been investigated in numerous publications [7,63,64,65,66]. However, these studies were not as extensive and systematic as the studies on flame retardants themselves. Nevertheless, they have revealed two key findings:

A) The results varied significantly for different polymers, adhesives, and flame retardant compositions.

B) The prediction of these results through chemical simulation or mathematical modeling proved challenging.

Consequently, there is still a long way to go in obtaining reliable long-term results in the field of aging studies. However, some progress is being made in this direction.

When evaluating the feasibility and expediency of investing, it is important to consider the extent of research conducted on aging and its prognosis.

Conclusions

This article provides a comprehensive overview of research in the field of flame retardant coatings and polymers. It paints the landscape of wide range of research directions and explains the inherent reasons behind this diversity.

The purpose of the article is to provide initial insights and guidance for analyzing the feasibility of specific investments in this field, taking into account the multitude of factors that complicate such analysis.

Several specific issues and points to consider when evaluating the expediency of investing of a project in this area are emphasized in italics throughout the article above. At this, the list of such really important points is wider and can be expanded in a more specific article.

Main features of this landscape

High Demand and Competition: The field of flame retardant coatings and polymers is highly sought after in various industries, leading to intense competition among developer groups and supporting companies.

Broad Research Scope: The research in this field encompasses a wide range of materials as objects of study, methods of chemical synthesis for key components, developing hybrid (combined) compositions, and advanced coating creation and application technologies. These studies involve highly qualified research teams with extensive experience in developing these methods.

Complex Interactions and Diverse Components: The large number of coating components and their mechanisms of action and interaction result in a factorial number of possible combinations. The unique properties, diversity, and complexity of these component interactions make it challenging to significantly limit their selection in advance when developing new materials. Confidently predicting the outcomes of new research is extremely difficult. As a result, there is a wide range of research directions and sub-directions, with a significant number of experimental studies within each development.

Transition to bio-composites: In the current key strategic direction, which is the transition to bio-composites, decisive results have not yet been achieved. This indicates that further progress is needed to fully explore and optimize the use of bio-based materials in flame retardant coatings and polymers.

These systems should:

- Be easily recyclable or biodegradable.
- Not emit toxic substances under normal environmental conditions during their long service life.
- Not release harmful volatile compounds under high temperature or flame.

Therefore, in principle, there is a room for entering this field with new ideas. In this field, there are numerous developments that have: a) achievements, as well as shortcomings and unresolved issues, and b) potential for further development.

Key sub-directions include the improvement of flame retardants (FRs), binders, fillers, and other additives; the creation of synergistic combinations among them; the development of multifunctional and smart coatings; advancements in coating application technologies, and more.

Due to the aforementioned reasons, it is impossible to determine in advance which of these developments are the most promising. That is why research continues in a very broad range. Analyzing investment proposals in this field is also significantly challenging. Some initial insights to consider during such analysis are presented in the sections of this review.

Preferred organizational conditions for investment entry

The first crucial requirement is the presence of an experienced team as only highly qualified groups of scientists can successfully implement complex synthesis and hybridization processes of various components necessary for the realization of new ideas.

The second crucial requirement is modern technical equipment, both general and specialized. This includes laboratory and technical capabilities for chemical synthesis and monitoring of its results, testing methods, including accelerated aging studies.

Additionally, access to modern software programs for preliminary modeling of the properties of synthesized materials is necessary.

A more thorough execution of a feasibility study is recommended to substantiate venture investments. One of the additional approaches capable of enhancing its credibility is the utilization of non-traditional specialized methods for researching patent information.

Approaches to the specific analysis of the prospects of a sub-direction or technology proposed for investment

Recommendations in this regard vary depending on whether the technology has been developed for a long time or if a new approach is being proposed.

For a technology that has been long-established and is gradually developing:

The risks of scientific or technical failure for such developments are relatively low. However, there are many competing systems of this type, each with its own real achievements, advantages, and disadvantages. Therefore, the chance of occupying a significant market niche is not big even in a case of scientific success.

Obtaining reliable expert assessments of their competitive commercial prospects is challenging. Therefore, the risks of being in a weak competitive position are relatively high. There are also significant risks of requiring substantial over-expected additional investment, as evidenced by similar developments in the past.

To address these challenges, special methods can be recommended to increase the reliability of forecasting the commercial prospects of such developments.

One precise and specialized method includes a thorough analytical examination of the patent landscape using specific techniques [2]. Despite the availability of modern commercial patent search and analytical services by the companies Questel, Clarivate, Patbase, etc., such studies remain unfamiliar and overlooked by investors and investment committees. However, when properly executed, these studies yield sufficiently accurate and reliable results [3].

For a technology implementing a significantly new approach

The risks of scientific and technical failure for such developments are relatively high. However, in the event of success, the probability of successful competitive commercialization, capturing a substantial market niche, is also considerable.

Obtaining a highly reliable expert opinion with a sufficiently confident forecast of prospects before obtaining experimental results is equally challenging as in the first case.

In such situations, a more thorough specific combined investigation of development prospects is recommended, involving close collaboration between a professional in the field and an expert capable of conducting unconventional analytical research of the patent landscape. Modern commercial analytical patent services offer unique opportunities for unconventional research using specialized methods.

Such a non-standard comprehensive analysis of the patent landscape in conjunction with expert insights can provide valuable information not only about the novelty and patentability, not only understanding the intellectual property landscape. It also can:

- help in reinforcing the scientific solutions, and
- expand potential commercial applications of the technology

- aid in identifying potential risks
- reveal unknown competitors that are still at a starting position.

All this facilitates making better-informed decisions regarding the development and potential investment.

The field of civil engineering has always been at the forefront of innovation, and 2023 is no exception. As the world faces unprecedented challenges, including the need for sustainable infrastructure, civil engineers are being called upon to find new solutions to old problems. From smarter construction techniques to cutting-edge materials and innovative designs, the latest advances in civil engineering promise to transform the industry and help build a more resilient, efficient, and sustainable future. Cement is the most widely used material in construction, but also one of the biggest contributors to harmful carbon emissions, said to be responsible for around 7 percent of annual global emissions. One major problem is cracking in construction, usually caused by exposure to water and chemicals. Bath University researchers are looking to develop a self-healing concrete, using a mix containing bacteria within microcapsules. which will germinate when water enters a crack in the concrete, which exact limestone, plugging the crack before water and oxygen has a chance to corrode the steel reinforcement. The demand for efficient insulation material is becoming crucially important throughout the construction industry.

The heat through walls tends to cross directly through the building envelope, be it masonry, block, or stud frame, to the internal fascia such as drywall. This process is called «thermal bridging». Aerogel, the Nasa technology developed for cryogenic insulation, is considered one of the most effective thermal insulation materials, and US spin-off. The rmablok has adapted it using a proprietary aerogel in a fiberglass matrix. This can be used to insulate studs, which can considerably increase the overall wall R-value (an industry measure of thermal resistance) by more than 40 percent. Glazing integrated photovoltaic (BIPV) can help buildings generate their own electricity, by turning the whole building envelope into a solar panel. Polysolar is a company is to provide transparent photovoltaic glass as a structural building material, forming windows, façades, and roofs. The grazing material of Polysolar is

efficient at producing energy even on north-facing, vertical walls. It is high performance at raised temperatures means it can be double-glazed or insulated directly. It includes the building constructed off-site using the same materials and designed to the same standards as conventional on-site construction. It also helps in limiting environmental disruption, delivering components as and when needed, and turning construction into a logistics exercise. It also offers strong sustainability benefits, from fewer vehicle movements to less waste. By using this method with up to 70 percent of a building produced as components, it allows a move towards “just in time” manufacturing and delivery. This method is currently popular in the United States and the UK, Chinese developer Broad Sustainable Building recently completed a 57-story skyscraper.

USA and China are leading patent owners in the field of Civil Engineering. The last patents in Civil Engineering are presented below. The invention CN 107704703B discloses a kind of construction methods of civil engineering BIM project amount model, first obtain or construct BIM initial model, all parametrization components in the initial model are created by layered modeling. Then according to project amount statistical requirements and demand, in BIM initial model all secondary structures and prefabricated preburied component carry out modeling inspection, and unmodeled secondary structure and prefabricated preburied component are modeled. Processing finally is reduced according to preset rules execution to all superimposed structures, obtains civil engineering BIM project amount model. Using the embodiment of the present invention, by the standardization and normalization procedure that execute civil engineering BIM project amount model construction, support BIM designs a model to execute the output requirement of preset rules with BIM engineering model to meet, without carrying out two modelings to go out project amount, or avoid between design and calculation amount software repeatedly in association process caused by data degradation, improve the integrated degree and efficiency of construction overall process project amount statistics.

The invention CN 201810286034 discloses a disc-drive-based pavement tamping device for civil engineering construction, which comprises a supporting transverse

plate, wherein a fixed rod frame is arranged on the supporting transverse plate, a pushing transverse plate with the side connected with the rod wall in a sliding manner and a fixed transverse plate fixedly connected with the rod wall are arranged on the inner side of the fixed rod frame, the upper end surface of the pushing transverse plate is connected with the lower end surface of the fixed transverse plate through a tamping spring, the upper end of an adjusting slide block is connected and fixed with a poking convex column, the lower end wall of the pushing transverse plate penetrates through the fixed transverse plate through a plurality of connecting pull rods to be connected and fixed with the upper end surface of the pushing transverse plate, the spiral directions of two ends of the lower side of an adjusting screw rod are opposite, two spiral connecting sleeves matched with the adjusting screw rod are arranged on the lower side of the adjusting screw rod, moving rollers are. The device makes things convenient for the road surface to tamp, and is easy and simple to handle, can change application of force intensity adaptation different road surfaces, stable in structure during the tamping, and convenient the removal, and the practicality is stronger.

The utility model, according to CN 20152107440, provides a civil engineering building construction material smashes and mixes integrated device, includes the casing, be equipped with first pivot in the casing, first pivot is connected with the inverter motor who is located the casing top, be equipped with a plurality of support columns in the first pivot, the on -fixed end of support column is equipped with first recess, is equipped with the spring in the first recess, spring one end and first recess bottom fixed connection, the other end and rod for crushing fixed connection, rod for crushing is last evenly to be equipped with a plurality of crushing blades, the bottom of first pivot is equipped with the disturbance pole, and the disturbance pole is circular-arcly, and disturbance pole below is equipped with arresting barrier, and arresting barrier is circular-arcly, the arresting barrier below is equipped with mixing arrangement, mixing arrangement includes second pivot, motor and helical blade. The beneficial effect of the utility model can come to change to smash radius, convenient

to use as required, smash and the mixed phase combination, effectively practiced thrift the plenty of time for the construction progress.

The utility model, according to CN 20527015U, discloses a novel shale shaker for civil engineering, including base, left support plate, right branch fagging, roof, feeder hopper, connecting the sand table, the inner wall of left support plate and right branch fagging all is provided with a set of spring, and the spring is fixed with the screen cloth of a horizontal setting, is provided with on the screen cloth to extend to the outer body of rod of right branch fagging, follows vertical direction on the right branch fagging and is provided with the slot hole that matches with the body of rod, and the outer wall of right branch fagging is provided with the mounting panel, is provided with first motor on the mounting panel, is provided with the cam on the output shaft of first motor, cam and body of rod contact, the preceding both sides of base are provided with a front wheel respectively, and both sides are provided with a rear wheel respectively at the back, and the front wheel passes through first round hub connection, and the rear wheel passes through second wheel hub connection, is provided with the second motor in the base, is provided with first gear on the output shaft of second motor, the first round is epaxial be provided with with a gear engagement's second gear. The beneficial effects are that: work efficiency is high, remove laborsaving convenience.

The invention CN 201910546708 relates to a civil engineering sand screening device, which utilizes a cross-shaped structure consisting of transverse rods and a longitudinal rod to form a screen structure, enables the transverse rods and the longitudinal rods to be adjusted at equal intervals according to requirements through a transverse interval adjusting device and a longitudinal interval adjusting device, simultaneously utilizes the locking function of a hydraulic telescopic rod in a hydraulic cylinder and the self-locking function of threads to realize the position locking after adjustment, enables the transverse rods and the longitudinal rods in the screen structure to be stable and reliable in the screening process, can be suitable for fine sand or gravel with different particle sizes, avoids the replacement of a screen, simultaneously drives the transverse rods and the longitudinal rods which are mutually matched to

be separated when screen holes are blocked or the screen needs to be cleaned by a power device, and then realizes the cleaning effect through adjusting the interval, the invention has simple operation and ingenious structure, the replacement of the screen is avoided, and meanwhile, the screen can be cleaned in time, so that the screening efficiency and quality are greatly improved.

Method for the construction of a hybrid foundation structure, according ES 2671930T3, providing an upper support layer and a lower support layer with different cross-sectional sizes from each other, and located vertically, wherein the layer upper support layer and the lower support layer are vertically installed on a ground, and comprising the upper support layer formed on the ground in the vertical direction; the lower support layer extending downwardly from the upper support layer to have a narrower width compared to the width of the upper support layer, and the upper support layer upper support and the lower support layer are formed by injection of solidified soil, which is a mixture of earth, sand and a soil solidifying agent, including the method: a drilling step to form a hole of drilling on the ground to form the upper support layer and the lower support layer; a basic formation step to inject the mixture of earth, sand and a soil solidifying agent into the drilling hole to form the upper support layer and the lower support layer, characterized in that earth and sand are a mixture of the silt produced in the drilling stage and aggregates, and the drilling stage and the basic formation stage consist of using a part of the silt produced in the drilling stage and injecting the mixture of remaining silt, aggregate and a soil solidifying agent.

The invention US 972966557 B relates to a composition comprising, based on the dry weight of said composition, (A) 10 to 70% by weight of one or more hydraulic binder and (B) 20 to 85% by weight of one or more filler, wherein the composition contains 0.05 to 5% by weight, based on the amount of the hydraulic binder, of at least one terpenoid alcohol, wherein the terpenoid alcohol is not terpineol or borneol. Additionally disclosed is a hardened product made by the composition and the use of at least one terpenoid alcohol in a composition, comprising hydraulic binder and filler, to reduce the shrinkage of the wet composition during curing.

The invention KR 101724062 B, relates to a mortar composite to maintain and reinforce a concrete structure suppressing an in-depth fine crack of a damaged concrete structure, and a concrete structure maintaining and reinforcing method using the same. More specifically, when maintaining and reinforcing a damaged part of a deteriorated concrete structure; the present invention has excellent maintaining effect for an internal in-depth fine crack and improves a bonding strength and durability to maintain the effects of maintaining and reinforcing for a long time while at the same time stably completing maintaining and reinforcing construction for a short time; thereby having excellent economic feasibility, have excellent user convenience by being directly used in a site, and have excellent resistance to the damage and fusion of the concrete structure while at the same time having excellent effect of suppressing the growth and proliferation of microorganisms. As such, the present invention is capable of having excellent tolerance to an acidic action caused by the action of the microorganisms.

The invention KR 101614725 B, relates to a shrinkage-reducing type rapid hardening cement concrete composition with excellent durability and a road pavement maintenance construction method using the same. The present invention includes: 5-45 wt % of rapid hardening binder; 10-75 wt% of fine aggregate; 10-65 wt % of coarse aggregate; 0.01-25 wt % of reforming admixture; and 0.1-25 wt % of water. The rapid hardening binder includes: 10-60 wt % of normal granular Portland cement which has fineness of 4,000-8,500 cm^2/g ; 5-50 wt % of calcium sulfoaluminate; 1-40 wt % of calcium aluminate cement; 1-40 wt % of sericite; 1-40 wt % of blast furnace slag powder which has fineness of 4,500-8,500 cm^2/g ; 0.1-20 wt % of gypsum; 0.01-20 wt % of bauxite; 0.01-10 wt% of cyclohexylamine nitrite; 0.01-10 wt % of lithium carbonate; and 0.01-10 wt % of sodium carbonate. The shrinkage-reducing type rapid hardening cement concrete composition according to the present invention can improve the strength, durability, and especially waterproofing and soundproofing properties of concrete by forming dense concrete by promoting the initial hydration and densification of the cement. The present invention can obtain an effect of

preventing surface crack and expansion failure phenomenon by drying shrinkage by using an expanding agent and a shrinkage reducing agent.

A foamed concrete, according US 88001851 B, having a density from 100 to 800 kg/m³ including by mass relative to the total mass of the concrete: a cement; water; from 0.01 to 5 % of a water-reducing agent, plasticizer or superplasticizer; from 0.45 to 5 % of a foaming agent relative to the amount of water; from 0.01 to 5 % of a water-soluble calcium salt; inorganic particles from 0.1 to 300 μm in size; the ratio of foaming agent to calcium salt being from 0.3 to 0.8; excluding foamed concretes including 10 % or more by mass of slag.

A method of manufacturing a building block, according ES 2808117 T3, comprising providing a granular material and a binder including steel slag; combining the granular material and the binder with water at a first water / slag ratio; compacting the combined granular material, binder and water at a compaction pressure of less than 20 MPa; reducing the amount of water in the combined granular material, binder and water to a second water / slag ratio that is less than the first water / slag ratio; hardening said combined granular material, binder and water having said second water / slag ratio with carbon dioxide.

Subsurface exploration by patent US 10823880 B1 using In-Situ tests such as SPT, CPT, CPTu, DMT, and PMT predicts inaccurately engineering properties of soils and intermediate geomaterials and thereby predicts incorrect load-settlement relationship of piles; variations or errors in engineering properties predicted by one empirical correlation to another correlation could be up to 50 % or greater. For soft to very soft soils, engineering properties cannot be predicted as the SPT only provides information such as WOR and WOH. To overcome this problem, the invention of the application consists of performing subsurface exploration using load tests on short model piles with or without instrumentation at various depths of a soil deposit for determining accurately the above-mentioned properties. For very soft soils, a hung balance is used to hang drill rods and short model pile from a drill rig boom or from a platform with soil anchors to prevent its overturning, and then perform the load test.

This invention CN 197510927 b relates to a set of elements or parts that make up an adjustable metal formwork system for concrete structures in civil engineering works that is intended to enable the formwork system to be assembled, joined and adjusted as efficiently as possible. Using the adjustable formwork system is intended to minimise the number of metal panels and accessories during execution of a project. It is also noteworthy that the shape, size and function of each element are especially designed to obtain a rigid structure, making it possible to construct the mould into which the concrete is poured while retaining its characteristics and to perform said functions more quickly, efficiently and safely. Structure defect detection by US patent 11144814 B is performed using computer-implemented arrangements employing machine learning algorithms in the form of neural networks. In one arrangement, a convolutional neural network is trained using a database of images formed to optimize accuracy of the convolutional neural network to detect, for example, a crack in a concrete surface. A two-stage scanning process each performing a plurality of scans of a test image is incorporated in the foregoing arrangement of convolutional neural network, with the two-stages forming overlapping capture areas to reduce likelihood of a crack lying on a boundary of the individual scans going undetected. Also, region-based convolutional neural networks are trained to detect various types of defects.

The patent US 10195687 B2 is provided high power laser and laser mechanical earth removing equipment, and operations using laser cutting tools having stand off distances. These equipment provide high power laser beams, greater than 1 kW to cut and volumetrically remove targeted materials and to remove laser affected material with gravity assistance, mechanical cutters, fluid jets, scrapers and wheels. There is also provided a method of using this equipment in mining, road resurfacing and other earth removing or working activities.

The invention CN 103136626 B relates to a kind of online management method of engineering project, the method is based on a remote interaction platform, pass budgets end computer installation, multiple contract enterprises end computer installation, multiple evaluation end computer installations, application end computer in-

stallation, multiple end computer installations of submitting to a higher level for approval or revision, multiple examination & verification end computer installations, data transmission and data between multiple examination & verification end computer installations and server-side computer system process, achieve online bidding and the assessment of bids of engineering project, the on-line evaluation contracting enterprise of engineering project, work out an engineering project schedule online, the online tracing of engineering project progress performance, engineering project progress abnormal response and process, the online engineering project quality that generates checks and accepts form, the online application of engineering project progress payment, material and labour cost analysis generates project estimates online.

The invention CN 107355509 B provides a kind of current vortex vibration absorber using lever principle, which includes cabinet, connecting screw hole, fixed copper sheet, permanent magnet, permanent magnet guide rail, support rod, mobile copper sheet, mass block, mass block guide rail, spring, connecting rod, hinged screw hole, driving bearing pin. When structure is vibrated, energy transfer is carried out by TMD damper first, reduces structural vibration. Then the movement for moving permanent magnet generation and mass block opposite direction by lever body frenulum by mass block, increases the speed of related movement of copper sheet and permanent magnet, carries out non-contact type energy dissipation by eddy current damper. The device utilizes lever principle, effectively increases the speed of related movement of copper sheet and permanent magnet, improves damper energy dissipation capacity. Simultaneously by adjusting balance pivot and torque arm length, adjustable TMD damper parameters, it is more extensive that device is applicable in frequency range.

Polymers for cement dispersing admixtures, according to patent US 6855752 B2, which show different performing properties in concrete are described. All polymers are based on a composition of reactants, namely a poly(acrylic acid), b) a polyalkylene-glycol-monoalkylether and, optionally c) a α -amino-polyalkylene-glycol- ω -alkylether and/or d) a primary or secondary amine. By keeping the composition of

reactants constant and varying only the reaction time, polymers with different properties can easily be achieved. Such polymers are suitable for pre-cast, readymix or for increasing workability over time, just depending on reaction time. Polymers of the invention can be used as single polymer or in polymer blends. For this, the kinetics of the used polymer analogous condensation reaction was intensively studied. Additionally, the benefit of amines as reactant regarding stability and hydrolysis velocity of cleavable side groups was investigated.

The present invention relates to a three-component concrete composition using fine ferronickel slag powder and a concrete structure manufactured using the same. More particularly, the present invention relates to a technology for forming a concrete composition using a three-component binder to which fly ash (FA), blast furnace slag (GGBS) fine powder, fine ferronickel slag (FNS) powder which are industrial by-products other than cement as a binder for concrete and also for manufacturing a concrete structure using the same. According to the present invention, the three-component concrete composition using fine ferronickel slag powder can prevent infiltration of harmful chemicals or chlorides through pores since the pores between cements can be densely filled, thereby significantly extending the life of the concrete structure, extending the repair period, and significantly reducing costs and manpower due to repair. By recycling ferronickel slag, blast furnace slag fine powder, fly ash, etc., which are by-products generated in large quantities in industrial sites, it is possible to increase the recyclability of resources and reduce the amount of waste by-products, thereby improving eco-friendliness by preventing secondary environmental pollution due to waste.

The invention US 103556225 B belongs to the field of civil engineering and relates to a complex squeezed pile forming construction method and a complex squeezed pile forming device. The complex squeezed pile forming construction method comprises the steps of utilizing a complex squeezing drill tool of the complex squeezed pile forming device to perform squeezing and hole forming, enabling an expansion body of the complex squeezing drill tool to expand and squeeze during upward spiral lifting, meanwhile starting a concrete pump to press and fill a pile

material into a pile hole till the pile top elevation is reached, and obtaining the a complex squeezed pile. The complex squeezed pile forming device comprises the complex squeezing drill tool and a control system of the complex squeezing drill tool, wherein the complex squeezing drill tool comprises a drill rod, and multiple expansion bodies are arranged at a drill bit threaded section of the drill rod. The complex squeezed pile forming construction method has the advantages of being high in bearing capacity, small in settling volume, good in quality, low in cost, low in energy consumption, high in work efficiency, environment-friendly and the like, and the complex squeezed pile forming device can perform construction operation under the complicated geological condition/

The invention CN 109095836 B provides a recycled powder concrete material for 3D printing construction. The invention further provides a preparation method of the recycled powder concrete material for 3D printing construction. The invention also provides a recycled powder concrete member for 3D printing construction and a preparation method and application thereof. The recycled powder concrete for 3D printing construction and the preparation method thereof provided by the invention combine the construction waste recycling recycled powder technology with the 3D printing construction technology; the safety, the applicability and the durability of the 3D printing recycled powder concrete material are further improved through optimization of the recycled powder concrete formula, and the self-cleaning function is achieved. The invention has higher environmental benefit and social benefit by considering the development of unmanned construction technology and resource regeneration technology in civil engineering in the future.

The invention CN 10209677 B disclose a method for monitoring the corrosion cracks of reinforced concrete based on distributed optical fiber sensing technique. The method comprises the following steps: periodically detecting the polarization current of a steel bar and a stainless steel segment embedded in a sensor by an electrochemical work station to determine the initial corrosion time of the steel bar; monitoring the optical fiber strain by the distributed optical fiber sensing technique in real time through using sensing optical fibers surrounding the steel bar and laid in the

sensor to deduce the corrosion expansion or corrosion crack stage of the reinforced concrete; and determining the corrosion expansion or corrosion crack degree by a calibration curve. The invention also discloses a sensor for executing the above method. The sensor can be used for monitoring the total corrosion cracking process of reinforced concrete at any position without damaging the structure of the concrete by monitoring the polarization current and the sensing optical fiber strain of the corroded steel bar, and can determine the corrosion crack stage and the degree of the reinforced concrete. The sensor is used for monitoring and evaluating the durability of reinforced concrete structure in the field of civil engineering.

A kind of concrete material, comprise the following component of corresponding proportion: cement, fine aggregate, coarse aggregate, flyash, silicon ash, carbon nanotube, nano silicon, haydite, granular polystyrene, steel fiber, nano kaoline particle, ultra-fine natural zeolite powder, gypsum, polymer emulsion, dibastic alcohol compound, modified lignin mahogany sulfonate, sheet silicate minerals material, polysiloxane, oxalic acid, benzene emulsion, crystalloid hydrous magnesium aluminium silicate mineral, water, mould agent by force, the naphthalene series high-efficiency water-reducing agent of baric, organic polymer class plasticity-retention agent, compound retarder and air entrapment agent. The invention still further relates to the preparation method of this concrete material. Concrete material of the present invention CN 104291749 B is than it existing concrete, and various performance improves all greatly. It is applied widely, has great engineering practical value and significant Technological Economy meaning.

Synthetic aggregates by patent US 10207954 B2 are fabricated from greater than approximately 70 wt % waste starting materials. Starting materials may be selected from granulated ground blast furnace slag, waste concrete fines, or sewage sludge ash, and mixtures thereof. The starting materials are bound together by a hydraulic cementitious binder either added to the starting materials or formed in situ. The waste starting materials, binder, and water are formed into pellets and subjected to a hydraulic reaction and carbonation in an atmosphere of greater than approximately 50% carbon dioxide at temperatures less than approximately 100°C. The resulting synthet-

ic aggregate has a crush strength after a period of hardening equal to or greater than approximately 0.5 MPa.

The invention CN 102127974 B provides a design and construction method of an additional cellar under an existing building, applied to the development and the application of an underground space under an existing building on a soft soil foundation. The method comprises the following steps of: temporarily processing and reinforcing an existing building; arranging an underpinning base carrier for wholly underpinning the foundation of the existing building; designing and constructing an underpinning pile foundation under the existing building; carrying out the engineering design and the construction of a foundation pit combined with the cellar structure; and carrying out the structural design and the construction of a sequential part of the cellar structure to achieve the aim of adding a cellar under the building. The design and construction method provided by the invention can provide a complete and reliable design and construction technology for developing and utilizing the underground space under the existing building and can provide a new ideal for solving the problem of parking difficulty in a central metropolitan area, old towns, and the like.

A tunnel BIM simulation system and method based on tunnel design data and excavation surface data is disclosed. The tunnel BIM simulation system by patent KP 101650480 B1 includes a two-dimensional centerline data generation unit, a three-dimensional centerline data generation unit, a tunnel cross-sectional configuration unit, a BIM model generation unit, and a data plane setting unit. The two-dimensional center linear data generator generates plane linear data and longitudinal linear data of the tunnel from the design data of the tunnel, and the three-dimensional center linear data generator generates three-dimensional central linear data of the tunnel from the plane linear data and the longitudinal linear data. The BIM model generator sets up a three-dimensional BIM model of the tunnel using the three-dimensional centerline data of the tunnel and the cross-sectional shape of each section of the tunnel from the design data of the tunnel cross section. And the paved surface data setting unit sets the paved surface data of the tunnel to the cross section on the corresponding three-dimensional BIM model of the tunnel.

An innovative, low-density, highly-insulating modular panel for use in many applications and industries. The panel by patent US 9512670 B2 consists of a frame that may be preformed or bent and may be made of rigid or flexible material, and a panel covering comprising at least one pocket of thin, low-density shade fabric that has the capability of sufficiently stretching to surround the frame when the pocket is pulled onto it. The pocket may be then secured, along any previously open end where the frame was inserted, by various fastening devices. The panel covering pocket may have additional features added, as described herein. The panel is durable and cost-effective, and has good solar-control and insulating qualities. It is also a windbreak panel, a noise-reduction panel, an impact protection panel, a water-resistant panel, a fall protection panel, and a pollution-control panel. Two or more panels can be joined to create a structure-protecting panel assembly or system.

A method and system for native object collaboration, revision and analytics for Building Information Models (BIM) and other design platforms. The method and system by patent US 10949805 B2 provide X-dimensional (XD) models for building information modeling (BIM) with collaboration and analytics. The method and system allows real-time and static collaboration on native and new composite XD (e.g., 3D, or lower or higher dimensional) object models from within existing 3D modeling BIM programs (e.g., AUTODESK REVIT, AUTOCAD, VECTORWORKS etc.). Collaboration analytics are collected and displayed.

An autonomous 3D excavation construction robot by patent CN 201810829038 A utilizes machine vision, a satellite positioning and automatic control device, a 3D digital model and the like to realize automatic and intelligent 3D excavation construction operation, and in a specified unstructured area, a satellite positioning system is utilized to measure pose information, a machine vision system is utilized to sense and recognize operation environment information, and an autonomous decision is made to excavate a driving route, driving speed, a bucket operation pose and the like of the robot. The satellite positioning system senses the position and the posture of the excavating robot in real time by adopting a satellite positioning receiver set; the machine vision system adopts a fixed baseline camera to sense and excavate the

surrounding environment of the robot and AR augmented reality capacity; the automatic control system is composed of an onboard upper control computer and a lower controller based on a CAN bus, wherein the lower controller comprises an engine controller, a running controller, a bucket operation controller, a fault diagnosis controller and the like. The autonomous 3D excavation construction robot can also be manually driven or remotely operated.

A kind of prefabricated beam column attachment means provided by the invention CN 105625570 B and preparation method thereof, are related to technical field of civil engineering, including the pre-buried steel member of prefabricated beam-column connection, styletable and the pre-buried steel member of beam-ends the prefabricated beam-column connection includes the first reinforcing bar connector and the second reinforcing bar connector, the first reinforcing bar connector and the second reinforcing bar connector agrees with across and integrated cast molding, the pre-buried steel member of styletable is connected with the end face of the first reinforcing bar connector, and the pre-buried steel member of beam-ends is connected with the end face of the second reinforcing bar connector. Said apparatus causes job site only lifting splicing process need to be used can be linked together in beam-ends and styletable, substantially increases construction speed, easy for construction; it is swift to operate, shorten the duration, be advantageous to environmental protection and noise control; it is readily transported, pacifies and tear open, and can be largely produced with the short time.

A composite pavement structure comprises a wearing course layer and a base course layer disposed below the wearing course layer. The wearing course layer comprises aggregate, e.g. glass and rock, and an elastomeric composition. The elastomeric composition comprises the reaction product of an isocyanate component and an isocyanate-reactive component. The isocyanate component comprises a polymeric isocyanate, and optionally, an isocyanate-prepolymer. The isocyanate-reactive component comprises a hydrophobic polyol and a chain extender having at least two hydroxyl groups and a molecular weight of from about 62 to about 220. The chain extender is present in the isocyanate-reactive component in an amount of from

about 1 to about 20 parts by weight based on 100 parts by weight of the isocyanate-reactive component. The base course layer comprises aggregate which is the same or different than the aggregate of the wearing course layer. Methods of forming the composite pavement structure are also disclosed - see US 9850625 B2.

The invention CN 11572229 B discloses a preparation method of high-strength coral concrete. Weighing the following raw materials in parts by weight: 25-63 parts of cementing materials, wherein the cementing materials comprise 20-45 parts of cement, 5-18 parts of mineral admixture, 45-58 parts of coral aggregate, 10-16 parts of mixing water and a water reducing agent with the weight being 2-5% of the total weight of the cementing materials. Placing the coral aggregate, seawater, a water reducing agent and 55-85% of cementing materials into a stirrer, stirring for 10-15 minutes, and adding the rest cementing materials into the stirrer in several times before initial setting to complete stirring, thus obtaining the high-strength coral aggregate concrete. The coral concrete has high mechanical performance index, high compactness, good impermeability and durability, is used for various concrete engineering in ocean island reef and coast construction, meets the requirements of civil engineering on greening and economy, and is beneficial to military defense facility construction and further development and utilization of ocean resources.

Construction systems for erecting budding structures comprise a plurality of pre-fabricated interconnectable modular budding units, each unit comprising framing members and a plurality of nodes, each node situated for selective interconnection with other units, the nodes and the exterior dimensions of the frame conforming to ISO shipping standards such that each unit is transportable using the ISO intermodal transportation system, and such that when the units are interconnected, a building structure is formed. The modular units are assembled at a remote location, and are there constructed to a semi-finished state, following which the semi-finished modular units are transported from the remote location to the job site, where they are secured to form the structure being erected, and the semi-finished modular units are thereafter constructed to a finished state. See US 20160160515A1.

A patented method and system for automatically ordering and fulfilling architecture (US 11475176 B2), design or construction product sample requests. Product sample request codes are added to 3D modeling programs, product pages, digital copies of standards books, product catalogs or product sheets. The product sample codes are used with artificial intelligence (AI) methods to automatically order and fulfill requests for architecture, design or construction product samples. The requested architecture, design or construction product samples are collected and shipped in a shipping container that includes graphical and other information that visually and consistently indicates the shipping container includes requested architecture, design or construction product samples. The shipping containers for the requested architecture, design or construction product samples may also include product branding for the manufactures or product suppliers of the requested architecture, design or construction. product samples.

References

1. Figovsky Oleg, Beilin Dmitry. Modern polymer concretes and mixtures. CRC Press, 2017. S. 272.
2. Axelrod B. Practice of a venture investor: examination of «embryonic» developments of innovation. 2007. No. 5 (103). S. 18-24 (in Russian).
3. Axelrod B., Petrova N. Independent examination of the prospects for commercialization of intellectual property in specific territories based on the study of patent information // Conference «Patents-2011», Moscow, 10/03/2011 (English version available).
4. Liu, K.; Wang, D.; Li, Z.; Li, Z.; Peng, X.; Liu, K.; Zhang, Y.; Zheng, P. Recent Developments in Epoxy Resin Fire Retardant System. 2020. No. 13. S. 2145.
5. Abdin, D.H.; El Khachach, M.; Koch, M.; Atiyeh, Massachusetts. A review of the corrosion behavior of nanocoatings on metal substrates. 2019. No. 12. S. 210.
6. Awang, M.; Khalili, A.A.; Pedapati, S.R. Overview: Thin protective coating to resist wear at high temperatures. 2020. No. 10. S. 42.

7. M.M.S.M. Sabee et al. Fire retardant coatings: additives, binders and fillers. *Polymers*. 2022. No. 14(14). S. 2911-2943.
8. Yang, H.; Yu, B.; Song, P.; Maluk, K.; Wang, H. Development of surface coating for fire-resistant flexible polyurethane foams: a critical review. *Compositions. Part B, English*. 2019. No. 176. S. 107185.
9. Huang, D.; Chen, K.; Xu, Z.; Lee, D.; Shi, L.; Liang, G. Behavior of latex foam with a two-layer coating and an extremely thin surface layer during fire under bottom ventilation conditions. *Saf process. Environment. Prot.* 2021. No. 148. S. 1164-1178.
10. Popescu, CM; Pfriem, A. Treatments and modifications to improve the response of wood and wood products to fire—a review. *Fire Mother*. 2020. No. 44. S. 100-111.
11. Beh, J.H.; Yes, MC; Saw, L.H.; Yes, M.K. Fire resistance and mechanical properties of intumescent coating using a new bio-ash for steel. *Coatings*. 2020. No. 10. S. 1117.
12. Jurgen H. Troich. Fire resistance of fire retardants in polymers and coatings. *Advanced industrial and engineering polymer research*. June 2023, ISSN 2542-5048, <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.05.002>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542504823000362>).
13. Shen, J.; Liang, J.; Lin, X.; Lin, H.; Yu, J.; Wang, S. Fire resistance mechanisms and preparation of polymer composites and their potential applications in construction engineering. *Polymers*. 2022. No. 14. S. 8.
14. Vahidi, G.; Bajwa, D.S.; Shojaeiarani, J.; Stark, N.; Darabi, A. Advances in conventional and nanoscale flame retardants for polymers—a review. *J. Appl. Polym. Sci.* 2021. No. 138:e50050 <https://doi.org/10.1002/app.50050>.
15. Baby, A.; Tretyakova-McNally, S.; Arun, M.; Joseph, P.; Zhang J. Reactive and additive modifications of styrenic polymers with phosphorus-containing compounds and their effect on fire resistance. *Molecules*. 2020. No. 25. S. 3779.
16. Zybina O., Gravit M. Intumescent coatings for fire protection of building structures and materials. Springer Chum. 2020. S. 210.

17. Chuprinsky A. Gas-flame spraying of aluminum coatings reinforced with particles of carbonaceous materials as an alternative to laser surfacing technologies. *Materials*. 2019. No. 12. S. 3467.
18. Nontasak, V.; Tongnuanchan, B.; Ninjan, R.; Lopattananon, N.; Vannavilai, P.; Nakason, K. Fire retardant wood coating based on natural rubber with methacrylic functionality. *J. Polym. English*. 2021. No. 41. S. 44-53.
19. Xie, L.; Wang, J.; Onion.; Hu, W.; Yang, D.; Qiao, K.; Peng, X.; Peng, Q.; Wang, T.; Sun, W.; and others. Surface interaction mechanisms in mineral flotation: fundamentals, measurements and prospects. *Adv. Colloidal interface*. 2021. No. 295. S. 102491.
20. Zhang, J.; Zeng, H. Intermolecular and surface interactions in engineering processes. *Technique*. 2021. No. 7. S. 63-83.
21. Hobbs, C.E. Recent advances in bio-based flame retardant additives for synthetic polymer materials. *Polymers*. 2019. No. 11 (2). S. 224.
22. Bifulko A. et al. Recent advances in the field of fire-resistant epoxy systems containing non-reactive phosphorus additives based on DOPO. Degradation and stability of polymers. 2022. No. 200. S. 109962.
23. Mensah, RA; Shanmugam, V.; Narayanan, S.; Renner, J.S.; Babu, K.; Neisiani, R.E.; Furst, M.; Sas, G.; Das, O. A review of environmentally friendly flame retardants used in plastics. *Polym. Test*. 2022. No. 108. S. 107511
24. Arabi, S.; Phillips, B.; Maine, K.; Ma, J.; Laui, T.; Wang, C.H. Recent advances in carbon-based nanomaterials for flame retardant polymers and composites. *Compositions. Part B, English*. 2021. No. 212. S. 108675.
25. On, V.; Song, P.; Yu, B.; Fang, Z.; Wang, H. Flame-retardant polymer nanocomposites through the combination of nanomaterials and conventional flame retardants. *Prog. Mater. Sci*. 2020. No. 114. S. 100687.
26. Rezvani Gomi, E.; Khosravi, F.; Mosaebi Z.; Saedi Ardahai, A.; Morshedi Dehagi, F.; Khorasani, M.; Neisiani, R.E.; Das, O.; Marani, A.; Mensah, RA; and others. Fire resistance of polyethylene composites: from fundamental concepts to nanocomposites. *Molecules* 2020. No. 25. S. 5157.

27. Karaer Ozmen, F.; Jureyen, M.E.; Koparal, A.S. Cleaner production of fire-resistant epoxy resin glass composites for aviation and smoke reduction. *J. Clean. Cont.* 2020. No. 276 S. 124065.

28. Aziz, T.; Mehmood, S.; Hack, F.; Ulla, R.; Han, Fu; Ulla, B.; Rahil, M.; Iqbal, M.; Ullah, A. Synthesis and modification of silica-based epoxy nanocomposites with different thermal and mechanical properties enhanced by sol-gel process. *J. Appl. Polym. Sci.* 2021. No. 138. S. 51191.

29. Quan, Yu.; Zhang, Z.; Tanchak R.N.; Wang, K. Review of cone calorimeter for evaluation of flame retardant polymer composites. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2022. No. 147 (5). S. 10209-10234.

30. Wahabi, H.; Sonnier, R.; Tage, A.; Otazagin, B.; Saeb, M.R.; Beyer, G. Halloysite nanotubes (HNTs)/polymer nanocomposites: thermal degradation and fire resistance. In *micro- and nanotechnologies*; Cavallaro G., Fakhrullin R., Pasbakhsh P., eds.; Elsevier: Amsterdam, Netherlands. 2020. S. 67-93.

31. Anis S.M., Dasari A. Review of environmental durability of intumescent coatings for steels. *Journal of Materials Science.* 2018. No. (53 (1)). S. 124–145.

32. Wang, Z. et al. Effect of acrylic polymer and nanocomposite with nano-SiO₂ on thermal degradation and fire resistance of APP-DPER-MEL coating. *Degradation and stability of polymers.* 2006. No. 91 (9). S. 1937-1947.

33. Marcet, D.; Dolza, K.; Fages, E.; Gongga, E.; Gutierrez, O.; Gomez-Caturra, J.; Ivorra-Martinez, J.; Sanchez-Nacher, L.; Quiles-Carrillo, L. Effect of halloysite nanotubes on the fire retardant properties of partially biological polyamide 610. *Polymers.* 2020. No. 12. S. 3050.

34. Zhang, Z.; Yang, M.; Kai, K.; Chen, Y.; Liu, S.; Liu, W.; Liu, J. Effect of flame retardants and glass fibers on polyamide 66/polyphenylene oxide composites. *Materials.* 2022. No. 15. S. 813.

35. A. Bifulco, D. Parida, C. Salmeja, S. Lehner, R. Stämpfli, H. Marcus, G. Malucelli, F. Branda, S. Gahan, Improvement of fire resistance of silica-epoxy nanocomposites cured with aliphatic hardener: combined the effect of a fire retardant based on DOPO and melamine. *Compositions. Part C.* 2020. No. 2. S.100022.

36. Lin, G. et al. Fire and impact resistance of polyurea composite coating reinforced with modified ammonium polyphosphate and two-dimensional nanofillers. *Progress in organic coatings*. 2023. No. 180. S. 107554.

37. Magyaratri, E.W. etc. Recent advances in the development of fire-resistant biocomposites - a review. *Polymers*. 2022. No. 14 (3). S. 362.

38. Liang, D.; Zhu, X.; Dai, P.; Lu, H.; Guo, H.; Ke, H.; Wang, D.; He, T.; Xu, K.; Robin, H. M.; and others. Preparation of a new flame retardant for lignin-based epoxy resins. *Mater. chem. Phys.* 2021. No. 259. S. 124101.

39. Howell, B.A.; Daniel, Y.G. Reactive flame retardants made from isosorbide derived from starch. In *Sustainability and Green Polymer Chemistry, Volume 1: Green Products and Processes*; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, WA, USA. 2020. No. 1372. S. 209-219.

40. Howell, B.A.; Daniel, Y.G. Isosorbide as a platform for the creation of new biologically based organophosphorus flame retardants. *Insights chem. Biochem.* 2020. No. 1. S. 1.

41. Wu, K.; Rahn, F.; Dai, L.; Lee, K.; Lee, R.; Si, C. Functional lignin-based nanofiller for fire-retardant mixtures. *Int. J. Biol. Macromol.* 2021. No. 190. S. 390-395.

42. Howell, B.; Han, X. Efficient bio-based phosphorus flame retardants from starch-derived bis-2,5-(hydroxymethyl)furan. *Molecules*. 2020. No. 25. S. 592.

43. Arastenezhad, N.; Suleiman, M.R.; Gupta, R.K. Eco-friendly nitrogen-based flame retardants for polyurethane foams. In *polyurethane chemistry: renewable polyols and isocyanates*; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, WA, USA. 2021. No. 1380. S. 167-185.

44. Rhoda Afriye Mensah, Vineswaran Shanmugam, Srinivasan Narayanan, Juliana Sally Renner, Karthik Babu, Rasool Esmaili Neysiani, Michael Furst, Gabriel Szasz, Oisik Das, A review of sustainable and environmentally friendly flame retardants used in plastics. *Polymer testing*. 2022. No. 108. S.107511.

45. Toan, M.; Park, J.-W.; Kim, H.-J.; Shin, S. Synthesis and characterization of a new phosphorus-containing furan-based epoxy resin hardener as a fire retardant. *Fire Mother*. 2019. No. 43. S. 717-724.

46. Scurti, F. et al. Phosphorylated poly(vinyl alcohol) surface coatings as an intumescent flame retardant for polymer matrix composites, *Progress in Organic Coatings*, Vol. - 2023. - No. 177. – S. 107457

47. Liang D. et al. Preparation of a new flame retardant for lignin-based epoxy resins. *Mater. chem. Fiz.*, 2021. No. 124101. S. 259.

48. W. Lu, W. et al. Intumescent fire retardant mechanism of liginosulfonate as a charring agent in rigid polyurethane foam. *Polymers*. 2021. No. 13. S. 1585.

49. Liu, X. et al. Effect of microencapsulated melamine polyphosphate carboxymethyl chitosan on fire resistance and water resistance of thermoplastic polyurethane. *Degradation and stability of polymers*. 2019. No. 160. S. 168-176.

50. Wang M. et al. Bio-based flame retardants for polymers: a review. *Advanced industrial and engineering polymer research*. 2023. No. 6 (2). S. 132-155.

51. Yang, Y. et al. Effect of bio-derived phytate (PA-THAM) on the flame retardant and mechanical properties of polylactide (PLA). *Express Polym. Lett.* 2020. No. 14. S. 705-716.

52. Qiu, S. et al. An environmentally friendly method for simultaneously improving the mechanical, flame retardant and anti-ultraviolet properties of polylactide composites by incorporating tannic acid derivatives. *Polym. Degrade. Stabilized*. 2022. No. 109831. S. 196.

53. Sui, Y. et al. Excellent radical scavenging and catalytic carbonation properties of bioderivative modified ammonium polyphosphate as a one-component intumescent flame retardant for epoxy resins. *Euro. Polym. Zh.*, 2021. No. 110601. S. 156.

54. H. Peng, D. Wang, X. Fu. Green exfoliation with tannic acid and functionalization of MoS₂ nanosheets: significantly improves the mechanical and flame retardant properties of polyacrylonitrile composite fibers. *chem. English J.* 2020. No. 123288. S. 384.

55. Ding, S. et al. Preparation and characterization of microencapsulated ammonium polyphosphate cyclodextrin and its application in flame retardant polypropylene. *J. Appl. Polym. Sciences*, 2020. No. 49001. S. 137.

56. Wang, L. et al. Synergistic flame retardant effect of barium phytate and intumescent flame retardant for epoxy resin. *Polymers*. 2021. No. 2900. S. 13.
57. Wang, P.-J. and others. Facile fabrication of nanolayered hybrid containing bio-based PNC: preparation, growth mechanism and its effective flame retardancy in epoxy resin. *Polym. Degrade. Stabilized*. 2019. No. 159. S. 153-162.
58. Xu, Y. et al. Experimental study on the synergistic flame retardant effect of bio-derived magnesium phytate and rice husk ash on epoxy resins. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 2021. No. 146. S. 153-164.
59. Zhang, J. et al. Green synthesis of phytic acid functionalized hierarchical UiO-66-NH₂ hybrids for fire safety of epoxy resin. *ASU Sustain. chem. English*, 2020. No. 8. S. 994-1003.
60. Yang, Y. et al. Preparation of green phytic acid-based intumescent fire retardant and its application in PLA nonwovens. *Polym. Adv. Tekhnol.*, 2021. No. 32. S. 3039-3049.
61. Yang, W. et al. Polydopamine nanoparticles for improving the mechanical and flame retardant properties of epoxy resin. *Compositions. B English*. 2020. No. 107828. S. 86.
62. Zhang J. et al. Hierarchically tailored hybrids through interfacial engineering of self-assembled UiO-66 and Prussian blue analogue: a new strategy for imparting highly effective flame retardancy and smoke suppression to epoxy resin. *chem. English J.* 2020. No. 125942. S. 400.
63. Schoch, R. et al. «Langzeit- und Witterungsstabilität von halogenfreiem Flammenschutz in Polymeren» (Long-term stability and weather resistance of halogen-free flame retardants in polymers) Shaker Verlag. Düren, 2021. S. 220.
64. Tan, Y. et al. Deterioration of fire resistance: comparison of ethylene vinyl acetate and low density polyethylene cables with two different metal hydroxides. *Journal of Applied Polymer Science*, 2021. No. 138 (14). S. 50149.
65. Porfiris, A.D. etc. Development of value-added polyethylene grades with extended service life: weather-resistant, fire-resistant materials for outdoor use. *J. Appendix. Polym. Sci.* 2021. No. 138. S. e50370, 50370.

66. Li, Y. et al. Synergistic effect of bis (2,2, 6,6-tetramethyl-4-piperidyl) sebacate and polysiloxane on the photoaging resistance and flame retardancy of polypropylene. Composites Part B. 2022. No. 109666. S. 10, 234.

Фиговский Олег Львович – д-р техн. наук, специалист в области создания новых композиционных материалов, Академик EAS, РИА и РААСН, почётный доктор КНИТУ, почётный профессор КГТУ, ВГТУ и WSG

Кукина Ольга Борисовна – канд. техн. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Чудина Татьяна Алексеевна – студент строительного факультета Воронежского государственного технического университета

УДК 691

**ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ
К ХАРАКТЕРИСТИКАМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
В РЕСПУБЛИКЕ БУРУНДИ**

Н.А. Белькова, Ндайизейе Фуади, Е.И. Шмитко*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Белькова Наталья Анатольевна,*

E-mail: verlnata@mail.ru

В статье представлены особенности обоснования требований к дорожным одеждам применительно к условиям республики Бурунди. Выявлены особенности нормативной базы в области строительства республики Бурунди. Установлено, что для нормирования требований дорожных одежд возможно применение нормативных документов Российской Федерации. Для республики Бурунди и Воронежской области определены характеристики и классифицированы дорожно-климатические зоны для дорожного строительства. Определены основные направления дальнейших исследований в области конструирования дорожных одежд.

Ключевые слова: дорожная одежда, нормативные документы, дорожно-климатическая зона, жесткие и нежесткие дорожные покрытия

**JUSTIFICATION OF REGULATORY AND TECHNICAL REQUIRE-
MENTS TO ROAD CHARACTERISTICS
IN THE REPUBLIC OF BURUNDI**

N.A. Bel'kova, Ndayizeye Fuadi, E.I. Shmitko*

**Corresponding author: Belkova Natalya Anatolyevna, E-mail: verlnata@mail.ru*

The article presents the specifics of justifying the requirements for road clothes in relation to the conditions of the Republic of Burundi. Features of the regulatory framework in the field of construction of the Republic of Burundi were revealed. It has been established that regulatory documents of the Russian Federation can be used to standardize the requirements of road pavements. For the Republic of Burundi and the Voronezh Region, the characteristics and road climatic zones for road construction are determined. The main directions of further research in the field of road pavement design have been identified.

Keywords: road apparel, regulatory documents, road climate zone, rigid and non-rigid road surfaces

Введение. Вопросы обоснования требований к параметрам дорожного покрытия в различных регионах страны и мира являются достаточно сложными и неоднозначными, особенно в створе применения местных сырьевых материалов.

Применительно к республике Бурунди проблема строительства дорог является наиболее актуальной. Так, по данным Дорожного управления Бурунди [1], 17 % национальных дорог (трасс) находятся в очень хорошем состоянии, 11 % в хорошем состоянии, 26 % в удовлетворительном состоянии и 46 % в плохом состоянии. Что касается провинциальных дорог, то 65 % из них находятся в плохом состоянии. При этом, правительство Бурунди провело ряд реформ, направленных на улучшение положения в транспортном секторе, и, в частности, на дорогах. Сектор наземного транспорта является важным звеном в бурундийской экономике и существенной поддержкой стратегии ускоренного роста страны [2-4]. При этом, согласно [5] в республике Бурунди отсутствует собственная нормативная база, в основном применяются бельгийские, французские или европейские нормативные документы.

Таким образом, проблемы определения технических параметров дорожного полотна и обоснования нормативной базы для строительства дорог для условий республики Бурунди является достаточно актуальной.

Целью настоящей статьи является обоснование требований к автомобильным дорогам и дорожным одеждам применительно к условиям республики Бурунди и сравнение этих требований с условиями Воронежской области.

Вначале рассмотрим конструкцию автомобильной дороги.

Автомобильная дорога представляет собой многослойную конструкцию (рис. 1) [6]. Основными слоями являются:

1) покрытие – верхний, наиболее прочный, относительно тонкий слой одежды (выполняет функции сопротивления внешним механическим (истирающим, ударным и сдвигающим нагрузкам) и физическим (природным) факторам);

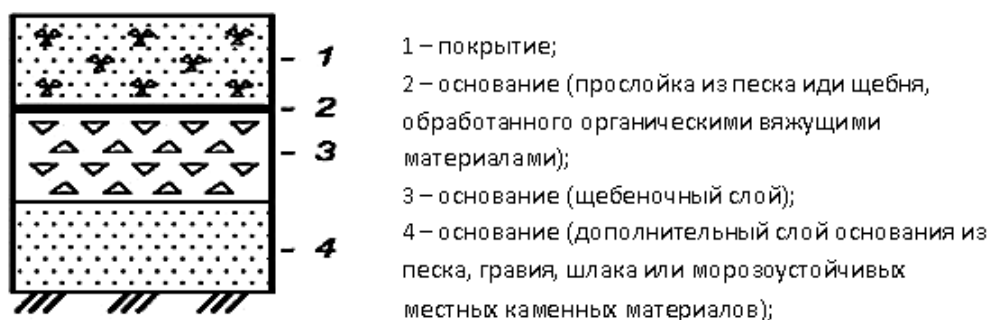


Рис. 1. Пример дорожного покрытия

2) основание – несущая прочная часть одежды, устраиваемая из каменных материалов или грунта, обработанного вяжущими материалами;

3) дополнительные слои основания из материалов – выполняют необходимые функции (дренирующие, подстилающие, снижающие толщину основания);

4) грунт земляного полотна - подстилающий слой.

Таким образом, при обосновании основных требований к дорожным одеждам необходимо определять количество, толщину и вид материалов для каждого из этих слоев.

На первом этапе настоящих исследований был проведен анализ действующей нормативной документации.

При разработке и проектировании дорог и материалов для них используется ряд нормативных документов. Рассмотрим вначале требования к дорожным одеждам и бетонам в соответствии с нормативными документами Российской Федерации и Европы (рис. 2 и 3).

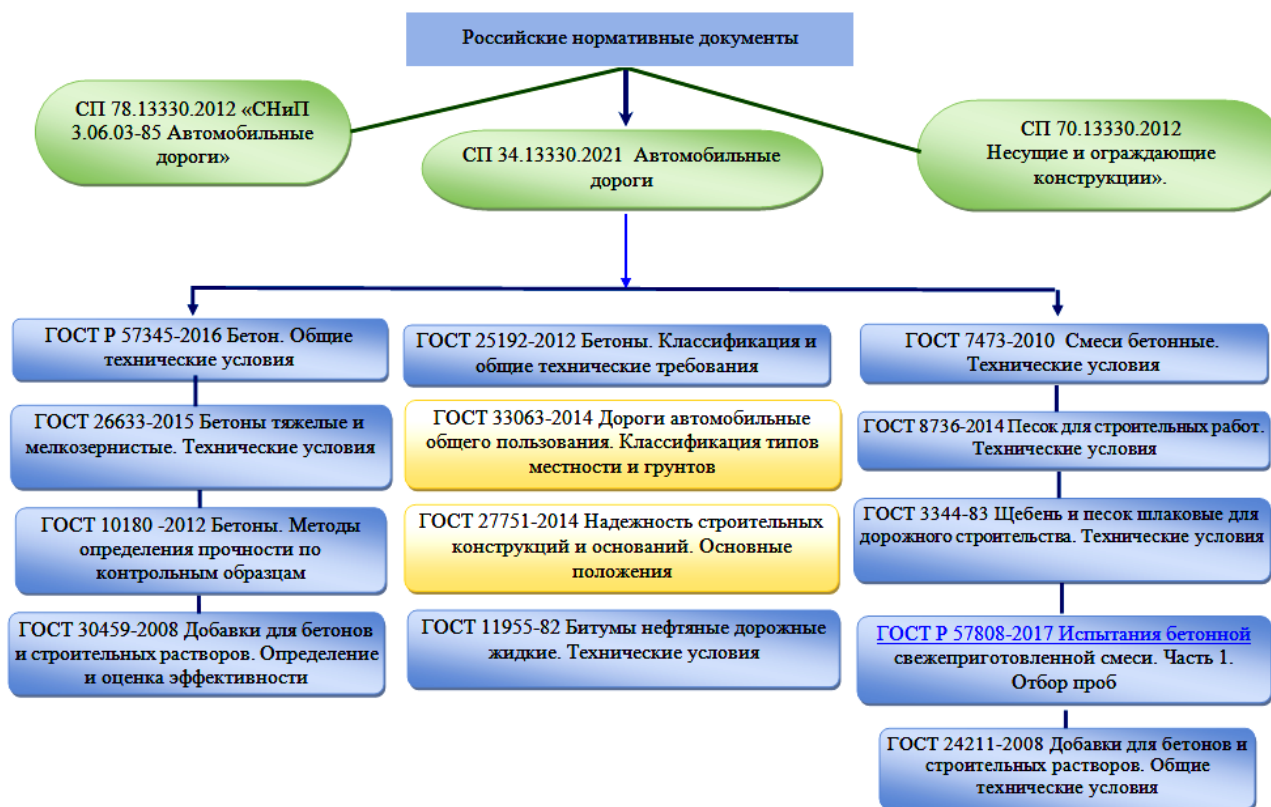


Рис. 2. Действующие нормативные документы Российской Федерации

В ходе анализа было установлено, что многие европейские нормативные документы соответствуют нормативным документам РФ, большинство европейских стандартов актуализировано на территории РФ в виде международных. Это касается, в частности, требований к сырьевым материалам и основным методам определения их свойств [6].

При этом в Российской системе нормативной документации существует особый тип нормативных документов – СНиП и СП. Установлено, что именно в этих документах установлены основные общие требования к автомобильным дорогам в целом и дорожным одеждам. Таким образом, возможно использование требований нормативов РФ применительно к условиям Бурунди. Это под-

тверждается и исследованиями, приведенными в [7], согласно которым установлено, что российские и европейские методологии и методики, применяемые к строительным материалам, можно адаптировать к новым ресурсным базам Республики Бурунди.

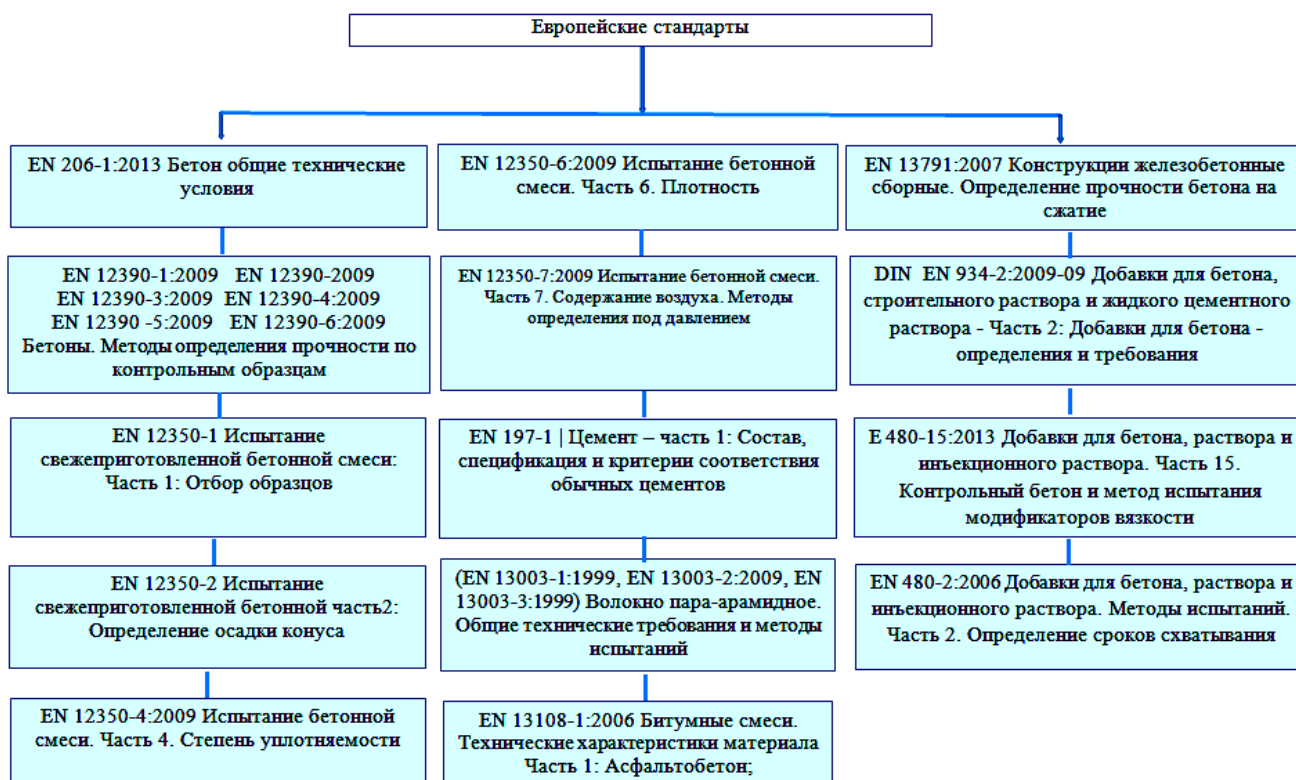


Рис. 3. Европейские нормативные документы

На втором этапе исследований были определены основные нормативные технические требования к дорожным одеждам. Характеристики дорожных одежд должны соответствовать требованиям СП 34.13330.2021 [7] с учетом климатических зон строительства.

Климат Бурунди влажный тропический под влиянием высоты, которая колеблется от 772 м на равнине Имбо до 2670 м на горе Хега в районе Мугамба [8]. Для него характерно чередование сухого сезона с июня по сентябрь и продолжительного сезона дождей с октября по май со среднегодовым количеством осадков от 768,5 до 1628,7 мм. Среднегодовая температура воздуха увеличивается с уменьшением высоты над уровнем моря: самая высокая среднемесячная температура составляет +29 °С, самая низкая – +17,9°С.

Таким образом, Бурунди можно отнести как ко II, так и к III дорожно-климатическим зонам.

II – это зона избыточного увлажнения;

III – это зона значительного увлажнения в отдельные годы.

По характеру и степени увлажнения Бурунди относится к третьей зоне.

3 тип – мокрые места, поверхностный сток не обеспечен, грунтовые или длительно (более 30 сут.) стоящие поверхностные воды оказывают влияние на увлажнение верхней толщи грунтов.

Что касается Воронежской области, то она относится к III дорожно-климатической зоне, которая характеризуется умеренно-континентальным климатом с умеренно-холодной зимой и жарким летом. Так, средняя годовая температура воздуха составляет $+5,4^{\circ}\text{C}$. Самым теплым месяцем является июль со средней температурой воздуха $+25^{\circ}\text{C}$, самый холодный месяц - январь со средней температурой воздуха $-8,6^{\circ}\text{C}$. По характеру и степени увлажнения Воронежская область относится к I типу местности. Поверхностный сток обеспечен за счет естественного уклона местности и устройства кюветов для отвода воды в искусственные водоотводные сооружения.

Таким образом, рассмотренные районы строительства автомобильных дорог имеют большое разнообразие погодных и климатических условий эксплуатации и работы дорожных одежд. Это и будет предопределять уровень технических свойств основных слоев.

Покрытие дорожной одежды (ее верхний слой) назначается в зависимости от типа и вида покрытия, которое классифицируется согласно СП 34.13330.2021 [9] (таблица 1).

Согласно исследованиям [10-12] при определении требований к дорожному покрытию необходимо руководствоваться требованиями надежности, которые предопределены в соответствующих нормативных документах [13], при этом уровень проектной надежности привязан к категории автомобильной дороги (в частности, для нежестких дорожных одежд).

Таблица 1

Основные виды покрытий дорожных одежд		
Типы дорожных одежд	Основные виды покрытий	Область применения
Усовершенствованные покрытия		
Капитальные	Цементобетонные монолитные	На дорогах категорий IА, IБ, IВ. II, III
	Железобетонные, монолитные и сборные или из предварительно напряженного железобетона, армобетонные сборные и монолитные	
	Из асфальтобетонных смесей, в том числе щебеночно-мастичных	
Облегченные	Из асфальтобетонных смесей	На дорогах категории IV
	Из органоминеральных смесей	
	Из щебеночных (гравийных) материалов, обработанных органическим вяжущим	
Переходные покрытия		
Переходные	Из щебеночно-гравийно-песчаных смесей	На дорогах категории IV
	Из грунтов и малопрочных каменных материалов, укрепленных вяжущими	
	Из грунтов, укрепленных различными вяжущими и местными материалами	
	Из булыжного и колотого камня (мостовые)	

При этом, в последние годы применение бетонных дорожных покрытий, достаточно распространенное как во многих зарубежных странах, так и в Российской Федерации, где к 2030 г. планируется строительство не менее 50 % всех новых дорог с применением цементобетонных одежд [14-16].

Согласно нормативным документам [9] для основных слоев предопределены минимальные классы цементных бетонов (табл. 2).

Таблица 2

Минимальные проектные классы бетона по прочности для дорожных покрытий

Конструктивный слой дорожной одежды	Минимальные проектные классы по прочности	
	на растяжение при изгибе В _т	на сжатие В
Монолитное покрытие	4,0	30
Монолитное основание	1,2	7,5
Сборное покрытие (основание)	3,6	25

Что касается слоя основания, то требования действующих норм не рекомендуют применять в качестве основания грунты с низкими прочностными и де-

формационными характеристиками. В этом плане имеется большой задел исследований, касающихся способов модификации и укрепления грунтов основания [17, 18].

Таким образом, в результате проведенного анализа мы определили основные характеристики климата Бурунди и Воронежской области. Для дальнейшего исследования определены минимальные требования к характеристикам цементных бетонов для жестких покрытий дорог. Основными направлениями дальнейших исследований является подбор составов цементных бетонов для дорожного покрытия применительно к условиям республики Бурунди.

Список литературы

1. Вийюкусенге О. Особенности информационной инфраструктуры Бурунди // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 1. С. 37-40.
2. Stratégie nationale en matière de planification et de gestion du secteur du transport et son plan d'actions 2018–2027 au Burundi. Bujumbura, 2018. 199 с.
3. Sandan A.S., Kysydak A.S. Using fine aggregate to improve concrete properties. Components of Scientific and Technological Progress. 2018. № 4(38): – С. 20-22.
4. Кольцевая развязка Чанич-RN3 в обход города Бужумбура: для разгрузки города // Burundi Eco Trace rond-point Chanic-RN3 de contournement de la ville de Bujumbura: Pour decongestionner la ville - Burundi Eco//https: [Электронный ресурс]: Режим доступа: burundi-eco.com / trace- rond- point- chanic- rn3 - decontournement -de-la-ville-de-bujumbura-pour-decongestionner-la-ville.
5. Жидких А.Д. Дорожная одежда. Классификация дорожных одежд. Конструктивные слои дорожной одежды.// [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://ea.donntu.ru:8080/bitstream/123456789/27905/2/%D0%A2%D0%91%D0%90%D0%94_%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97.pdf (Дата обращения 09.09.2023).

6. Усачев С.М., Кукина О.Б., Ками К. Исследование свойств сырьевых материалов для бетонов в республике Бурунди // Научный журнал строительства и архитектуры. 2023. № 1 (69). С. 36-46.

7. СП 34.13330.2021 Автомобильные дороги: дата введения 2021-10-01. – М: Стандартиформ, 2021. 123 с.

8. Dr Stefan Liersch, Rocio Rivas, Kerstin Fritzsche- Rapport sur le changement climatique au Burundi. [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/changement_climatique_auburundi_r%C3%A9sum%C3%A9_fr_1.pdf (Дата обращения 09.09.2023).

9. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги : дата введения 2013-07-01. – М: Стандартиформ, 2013. 69 с.

10. Карамышева Н.А., Горячев М.Г., Лугов С.В., Каленова Е.В. Методика обоснования оптимального уровня проектной надёжности при проектировании дорожных одежд// Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2022. № 4 (34).

11. Горячев, М.Г. Повышение надёжности автомобильных дорог: учебное пособие / М.Г. Горячев. М.: МАДИ, 2020. 158 с.

12. Моисеенко, Р.П. Расчет надёжности нежестких дорожных одежд методом моментов по критерию допускаемого прогиба // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6. С. 220-226.

13. ПНСТ 542-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Стандартиформ. 2021.

14. О строительстве автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями / Т.И. Левкович, Е.Г. Воробьев, А.А. Копылова, А.А. Апанасчик, Д.С. Прохоренкова // Инновации в строительстве. Брянск, 2020. С. 462-467.

15. Precast system and assembly connection of cement concrete slabs for road pavement: A review / M. Fang, R. Zhou, W. Ke, B. Tian, Y. Zhang, J. Liu // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2022. Vol. 9, iss. 2. P. 208-222.

16. Янковский Л.В. Альтернативы автомобильным дорогам с цементобетонными покрытиями в России нет // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 2. С. 18–20.

17. Кукина О. Б., Волокитина О. А., Волков В. В., Шуваев Д. И., А. С. Чунихина Проектирование конструктивных слоев оснований фундаментов сооружений и дорожных одежд на модифицированных глинистых грунтах// Строительная механика и конструкции. 2022. № 2 (33). С. 158-167.

18. Волков В.В., Волокитина О.А., Кукина О.Б. Использование теории агрегативной устойчивости дисперсных материалов при конструировании слоев дорожных одежд с заданными свойствами // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 2 (66). С. 78-86.

References

1. Viyukusenge O. Features of Burundi's information infrastructure// T-Comm: Telecommunications and transportation. 2019. T. 13. № 1. S. 37-40.

2. Stratégie nationale en matière de planification et de gestion du secteur du transport et son plan d'actions 2018–2027 au Burundi. Bujumbura, 2018. 199 p.

3. Sandan A.S., Kysydak A.S. Using fine aggregate to improve concrete properties. Components of Scientific and Technological Progress. 2018. № 4(38): P. 20-22.

4. Chanich-RN3 roundabout bypassing the city of Bujumbura: to unload the city//Burundi Eco Trace race-point Chanic-RN3 de contournement de la ville de Bujumbura: Pour decongestionner la ville - Burundi Eco//https: [Electronic resource]: Access mode: burundi-eco.com/trace-rond-point-chanic-rn3-de-contournement-de-la-ville-de-bujumbura-pour-decongestionner-la-ville/

5. Zhidkikh A.D. Road clothes. Road pavement classification. Roadway Design Layers // [Electronic Resource]: Access Mode: http://ea.donntu.ru:8080/bitstream/123456789/27905/2/%D0%A2%D0%91%D0%90%D0%94_%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97.pdf (Accessed Date 09.09.2023)

6. Usachev S.M., Kukina O.B., Kami K. Research of the properties of raw materials for concrete in the Republic of Burundi//Scientific Journal of Construction and Architecture. 2023. № 1 (69). S. 36-46.
7. SP 34.13330.2021 Motor roads: date of introduction 2021-10-01. M: Standardinform, 2021. 123 s.
8. Dr Stefan Liersch, Rocio Rivas, Kerstin Fritzsche- Rapport sur le changement climatique au Burundi. [Electronic Resource]: Access Mode: https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/changement_climatique_au_burundi_r%C3%A9sum%C3%A9_fr_1.pdf (Accessed Date 09.09.2023)
9. SP 78.13330.2012 Motor roads: date of introduction 2013-07-01. M: Standardinform, 2013. 69 s.
10. Karamysheva N.A., Goryachev M.G., Lugov S.V., Kalenova E.V. Methodology for justifying the optimal level of design reliability in the design of road pavements//Car. The road. Infrastructure. 2022. № 4 (34).
11. Goryachev, M.G. Improving the reliability of highways: a textbook/M.G. Goryachev. - M.: MADI, 2020. - 158 s.
12. Moiseenko, R.P. Calculation of reliability of non-rigid road pavements by the moment method according to the criterion of allowable deflection//Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. № 6. C. 220-226.
13. PNST 542-2021. Public roads. Non-rigid roadwear. Design Rules/Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. M.: Standardinform. 2021.
14. On the construction of roads with cement concrete coatings/T.I. Levkovich, E.G. Vorobyov, A.A. Kopylova, A.A. Apanaschik, D.S. Prokhorenkova//Innovations in construction. Bryansk, 2020. S. 462-467.
15. Precast system and assembly connection of cement concrete slabs for road pavement: A review / M. Fang, R. Zhou, W. Ke, B. Tian, Y. Zhang, J. Liu // Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2022. Vol. 9, iss. 2. P. 208–222.
16. Yankovsky L.V. There are no alternatives to roads with cement concrete coatings in Russia//Science and technology in the road industry. 2013. № 2. S. 18-20.

17. Kukina O. B., Volokitina O. A., Volkov V.V., Shuvaev D.I., A.S. Chunikhin Design of structural layers of foundations of structures and road pavements on modified clay soils//Construction mechanics and structures. 2022. № 2 (33). S. 158-167.

18. Volkov V.V., Volokitina O.A., Kukina O.B. Use of the theory of aggregative stability of dispersed materials in the design of layers of road pavements with specified properties//Scientific Journal of Construction and Architecture. 2022. № 2 (66). S. 78-86.

Белькова Наталья Анатольевна – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Ндайзейе Фуади – аспирант кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Шмитько Евгений Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

УДК 691.175.2

НОВОЕ В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА МИНЕРАЛОВАТНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ

А.М. Хорохордин, Я.О. Рудаков, Е.А. Хорохордина, А.А. Распопова*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

** Адрес для переписки: Хорохордин Алексей Митрофанович,*

E-mail: a_horohordin@mail.ru.

Наряду с исследованиями физико-механических показателей качества минеральной ваты марки «Технониколь» проведены хромато-масс-спектрометрические испытания с применением пиролитической приставки EGA/PY-3030 DFRONTIERLAB и газового хроматографа Agilent 8890 с масс-спектрометрическим детектором. Показатели качества определяли по ГОСТ 4640-2011. Хромато-масс-спектрометрические данные по летучим компонентам и продуктам пиролиза дают информацию о химическом составе полимерной составляющей материала и могут быть полезными при оценке качества и безопасности утеплителя.

Ключевые слова: минеральная вата, методы инструментального контроля, физико-механические свойства, пиролитическая газовая хромато-масс-хроматография

NEW IN QUALITY CONTROL OF MINERAL WOOL INSULATION

A.M. Khorokhordin, Ya.O. Rudakov, E.A. Khorokhordina, A.A. Raspopova,*

Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya 84

**Corresponding author: Khorokhordin A.M., E-mail: a_horokhordin@mail.ru*

Along with studies of physical and mechanical quality indicators of mineral wool of the «Technicol» brand, chromato-mass spectrometric tests were carried out using a pyrolytic prefix EGA/PY-3030 D FRONTIER LAB and an Agilent 8890 gas chromatograph with a mass spectrometric detector. Quality indicators were determined according to GOST 4640-2011. Chromato-mass spectrometric data on volatile components and pyrolysis products provide information on the chemical composition of the polymer component of the material and can be useful in assessing the quality and safety of insulation.

Keywords: mineral wool, methods of instrumental control, physical and mechanical properties, pyrolytic gas chromato-mass chromatography

Введение. Минеральная вата – волокнистый теплоизоляционный материал на синтетическом связующем, получаемый из минерального сырья – силикатных расплавов горных пород, это могут быть силикатные расплавы из доменных шлаков, смесей осадочных и изверженных горных пород [1]. Она представляет из себя тонкие и гибкие волокна, которые получились из капель раздробленного минерального расплава, вытянутого в нити [2].

Минеральная вата активно используется в качестве ненагруженной изоляции горизонтальных, вертикальных и наклонных строительных ограждающих конструкций всех типов зданий, а также в системах наружного утепления штукатурного типа.

Недостатком этого материала является его большая осадка под воздействием вертикальных нагрузок, особенно при вибрации, и его большая влагоемкость. При перевозках и хранении вата уплотняется и комкуется, часть волокон ломается и превращается в пыль, что может приводить к выделению минеральных микро- и наночастиц, выделению фенолов и формальдегида. В конструкциях рыхлая вата должна быть защищена от механических воздействий, её укладка требует больших трудозатрат [1-3].

В настоящее время регламентирует качество минеральной ваты ГОСТ 4640-2011 «Межгосударственный стандарт. Вата минеральная. Технические условия». Он распространяется на минеральную вату, получаемую из расплава горных пород габбро-базальтовой группы и их аналогов, осадочных пород, а также вулканического и металлургического шлаков [3].

Таким образом, актуальной задачей является контроль качества и безопасности минераловатного утеплителя, так как при эксплуатации низкокачественной продукцией есть риск повышения теплопотери и понижения звукопоглощения и огнестойкости, а также миграции экотоксикантов. Так как в качестве связующего компонента в минеральную вату добавляют фенолформальдегидную смолу и полиуретаны, в процессе эксплуатации или некачественной продукции возможна миграция формальдегида, фенолов и других органических соединений в воздух рабочей зоны, а значит, важной эколого-аналитической задачей является анализ образцов исследуемой минеральной ваты на химический состав мигрирующих веществ. В этом плане интересны возможности метода пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии [4]. В пиролизёр помещается твердый образец материала и в процессе программируемого нагрева в колонку хроматографа поступают вначале летучие компоненты, затем продукты пиролиза материала. В этом методе минимизируются алгоритмы пробоподготовки. Определение экотоксикантов, выделяющихся в область рабочей зоны может повышать риск развития заболеваний верхних дыхательных путей [5, 6].

Целью настоящей работы является апробация инструментальных методик контроля физико-механических и экологических показателей минераловатного утеплителя для контроля качества и безопасности минваты.

Экспериментальная часть

В качестве объекта испытаний представлена минеральная ваты марки «Технониколь». В ходе определения параметров качества образцов были выполнены следующие испытания: определение влажности и плотности плит, определения прочности при сжатии и растяжении, анализ летучих компонент и полимерно-

го связующего минеральной ваты с применением пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии.

Определения влажности (%) и плотности плит (кг/м³) проводили в соответствии с ГОСТ 17177-94 [7]. Для определения влажности три навески минеральной ваты высушивали в сушильном шкафу при температуре $105\pm 5^\circ\text{C}$ до постоянной массы и взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,01 г. Результат получают как среднеарифметическое значение трех измерений. Влажность не должна превышать 2%. Результаты представлены в табл. 1.

Определения прочности при сжатии и растяжении (КПа) минераловатных плит проводили на универсальной напольной электромеханической испытательной системе Instron 5982.

Внешний вид отдельных образцов для испытаний на сжатие представлен на рис. 1, на растяжение рис. 2.

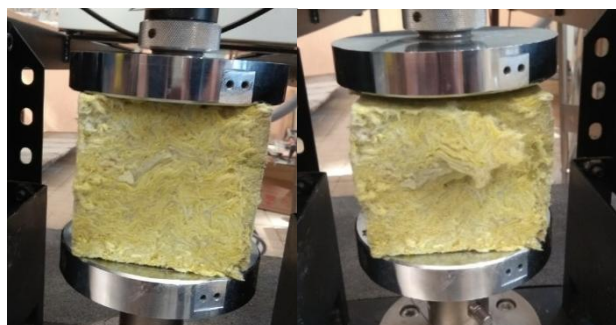


Рис. 1. Внешний вид образца на сжатие до и после испытания



Рис. 2. Внешний вид отдельных образцов для испытаний на растяжение

Для определения химического состава летучих компонентов и полимерного связующего применили газовый хроматограф Agilent 8890 (рис. 3) с масс-детектором и многорегимным испарителем (пиролизёром) EGA/PY-3030

DFRONTIERLAB с возможностью прямого ввода в колонку для анализа твердых веществ, условия анализа представлены в табл. 4. На рис. 4, 5 представлены результаты испытаний.



Рис. 3. Газовый хроматограф Agilent 8890

Результаты и их обсуждение

Результаты определения влажности и плотности плит представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения влажности и плотности плит

№ измерения	Влажность, %	Плотность в естественном состоянии, кг/м ³	Плотность в сухом состоянии, кг/м ³
1	0,43	109,47	109,00
2	0,44	110,19	109,71
3	0,43	107,03	106,57
Среднее значение	0,41	108,90	108,43

Результаты определения прочности при сжатии и растяжении минераловатных плит представлены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Результаты определения прочности при сжатии образцов минераловатных плит

№ п/п	Метка образца	Ширина (мм)	Толщина (мм)	Площадь (мм ²)	Максимальная нагрузка при сжатии, Н	Напряжение при сжатии, КПа
1	1	102	100	10200	807,33	79,15
2	2	105	112	11760	953,148	81,05
3	3	110	112	12320	1048,309	85,09
Среднее значение						81,76

Таблица 3

Результаты определения прочности при растяжении образцов минераловатных плит

№ п/п	Ширина (мм)	Толщина (мм)	Площадь (мм ²)	Максимальная нагрузка при сжатии, Н	Напряжение при растяжении, КПа
1	152	151	22952	2573	112,11
2	150	151	22650	2711	111,97
3	153	152	23256	2577	110,80
Среднее значение					111,6

На рис. 4 приведена хроматограмма, полученная методом пиролитической ГЖХ-МС. Продукты 1-4 – летучие компоненты, 5-20 – продукты пиролиза органических компонентов, содержащихся в минвате.

Таблица 4

Условия пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии минеральной ваты

Параметр	Подобранные параметры
Ввод пробы	Пиролизер EGA/PY-3030 D FRONTIER LAB
Газ-носитель	гелий
Скорость газа-носителя	1,2 мл/мин
Объем вводимой пробы	0,3 мг
Температура испарителя	300 °С
Программирование температуры термостата	40-320°С /20°С
Хроматографическая колонка	Ultra ALLOY®-5
Температура печи	480
Время анализа	30 мин
Библиотека спектров	NIST20
Температура интерфейса	300°С
Энергия ионизирующих электронов	75 эВ
Режим регистрации масс-спектров	SCAN в диапазоне масс m/z 19-500 а.е.м.

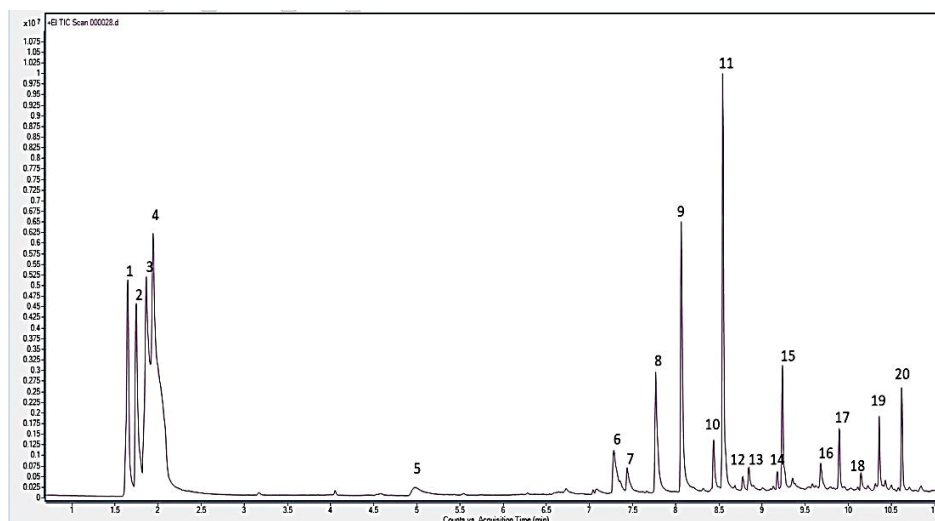


Рис. 4. Хроматограмма минваты

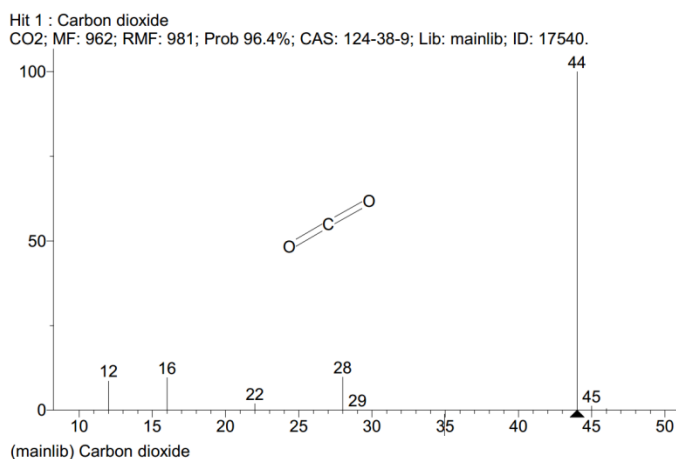


Рис. 5. Масс-спектр CO₂

Пик 1 соответствует углекислому газу. Пики 2-4 достоверно не идентифицированы, с вероятностью 55-80% библиотека спектров указывает на сходство экспериментальных масс-спектров с летучими алкиламинами, изоцианатами, силоксаном. Пики 5,6 соответствуют *орто*- и *пара*-крезолам, 7, 8, 9 – изомерные диметилфенолы, 10 – ароматический изоцианат, 12 – антисептик метенамин, 13-20 – ароматические амины, цианиды и изоцианаты.

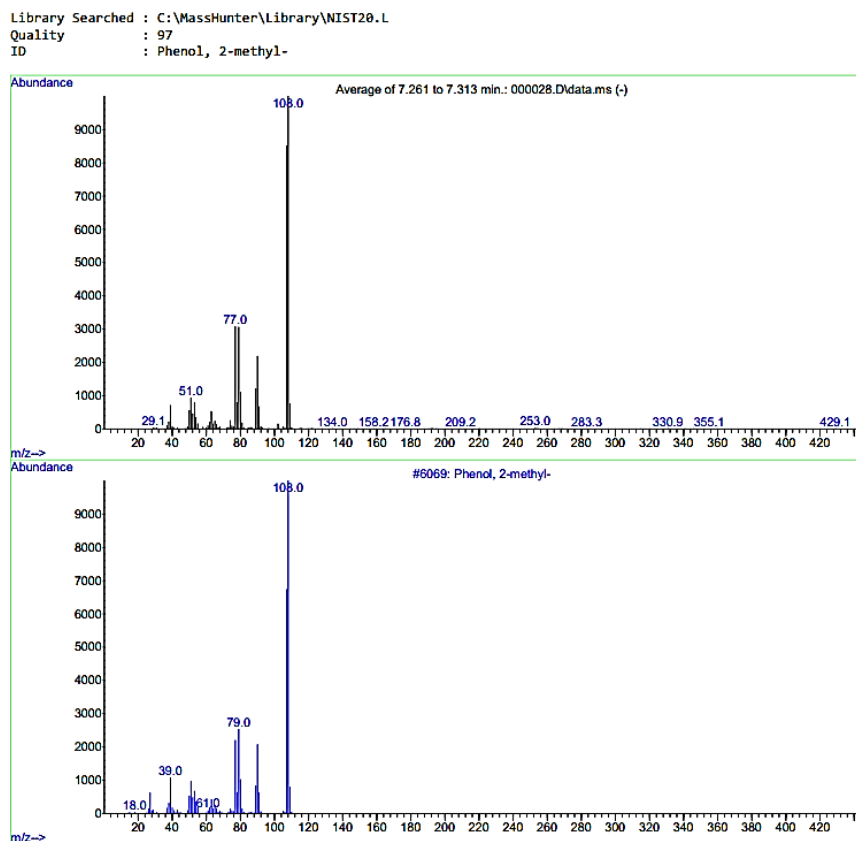


Рис. 6. Справочный и экспериментальный масс-спектр *орто*-крезола (совпадение 97%)

Таким образом, можно сделать выводы, что минвата обработана для придания ей определенных технико-эксплуатационных характеристик полиуретанами и фенолформальдегидными смолами. Для полиуретанов характерна повышенная твердость, что позволяет их применять там, где на материал оказываются значительные механические нагрузки. Для материалов с применением полиуретанов присуща высокая износостойкость, в том числе к воздействию абразивных веществ, применяемых для шлифовки, полировки и прочих видов обработки материалов. Отметим также значительную эластичность полиуретанов. При этом, что твердость материала остается высокой. Наконец, полиуретан – неблагоприятная среда для образования плесени, грибков, микроорганизмов. Фенолы также служат хорошими антисептиками, а также применяются в качестве мономеров фенолформальдегидных смол. На рис. 6 в качестве примера приведен масс-спектр обнаруженного орто-крезола в сравнении с библиотечным спектром.

Заключение. Характеристики прочности при сжатии, прочности при растяжении, влажности и плотность образца минеральной ваты соответствуют показателям ГОСТ 4640-2011 [3]. Фактическая плотность образца равна 109 кг/м^3 . Это очень важный показатель, так как он характеризует прочностные характеристики ваты, это гарантирует, что данный теплоизолятор будет служить долго, не меняя своей формы и размеров за весь период использования. Влажность не более 2 %, что так же соответствует требованиям ГОСТ 4640-2011.

Рекомендуемая область применения данного материала: тепло-, звукоизоляция стен, в том числе фасадов с вентилируемым зазором, подвальных перекрытий с нижней стороны, трехслойных облицовочных стен зданий из кирпича, газобетона и других блоков. В качестве теплоизоляционного слоя трехслойных панелей для стеновых конструкций, в качестве тепловой изоляции промышленного оборудования, при низких и повышенных температурах эксплуатации. Ввиду высоких показателей плотности, данные образцы минеральной ваты также можно рекомендовать в качестве кровельного материала.

В тоже время следует учитывать наличие вредных для здоровья летучих компонентов и продуктов пиролиза при производстве и эксплуатации минеральной ваты.

Благодарности: исследования проводили с использованием оборудования ЦКП имени проф. Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета, дооснащение которого проведено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Соглашение № 075-15- 2021-662

Список литературы

1. Онищук В.И., Жернова Н.Ф., Болгов А.М. Комплексная оценка пригодности сырья для производства минеральной ваты // Техника и технология силикатов. 2010. Т.17. №4. С. 5-10.
2. Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухов Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции. М.: Инфра-М, 2010. 266 с.
3. ГОСТ 4640-2011. «Межгосударственный стандарт. Вата минеральная. Технические условия».
4. Рудаков О.Б., Хорохордин А.М., Рудаков Я.О., Хорохордина Е.А. Применение пиролитической хромато-масс-спектрометрии в контроле качества строительных полимеров и композитов // Строительные материалы. 2022. № 8. С. 65-69. DOI 10.31659/0585-430X-2022-805-8-65-69.
5. Пестряков И.И., Кирюшина А.П., Султанов Ш.Т. Сорбционная влажность утеплителей из минеральной ваты и пенополиизоцианурата // Научные горизонты. 2018. №12 (16). С. 204-216.
6. Крамаренко А.В., Путилова М.Н. Возникновение онкологических заболеваний от воздействия минеральной ваты // Наука и образование: новое время. 2017. №2 (19). С. 1-4.
7. ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».

References

1. Onishchuk V.I., Zhernova N.F., Bolgov A.M. Comprehensive assessment of the suitability of raw materials for the production of mineral wool // *Technique and technology of silicates*. 2010. T.17. No. 4. P. 5-10 (In Russian).
2. Bobrov Yu.L., Ovcharenko E.G., Shoikhet B.M., Petukhov E.Yu. *Thermal insulation materials and structures*. M.: Infra-M, 2010. 266 p (In Russian).
3. GOST 4640-2011. «Interstate standard. Mineral wool. Technical conditions» (In Russian).
4. Rudakov O.B., Khorokhordin A.M., Rudakov Ya.O., Khorokhordina E. A. Application of pyrolytic chromatography-mass spectrometry in quality control of building polymers and composites // *Building materials*. 2022. No. 8. pp. 65-69. DOI 10.31659/0585-430X-2022-805-8-65-69. (In Russian).
5. Pestryakov I.I., Kiryushina A.P., Sultanov Sh.T. Sorption humidity of mineral wool and polyisocyanurate foam insulation materials // *Scientific horizons*. 2018. No.12 (16). P. 204-216 (In Russian).
6. Kramarenko A.V., Putilova M.N. The occurrence of oncological diseases from the effects of mineral wool // *Science and Education: novoe vremya*. 2017. No.2 (19). P. 1-4 (In Russian).
7. GOST 17177-94 «Materials and products for building thermal insulation. Test methods» (In Russian).

Хорохордин Алексей Митрофанович – начальник Центра коллективного пользования им. проф. Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Рудаков Ярослав Олегович – инженер кафедры химии и химической технологии Воронежского государственного технического университета

Хорохордина Елена Алексеевна – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Распопова Алина Алексеевна – студент группы БХТ-201 факультета радиотехники и электроники Воронежского государственного технического университета

УДК 624.01

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УКРЕПЛЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

С.Н. Золотухин, А.О. Харина, А.А. Стукалин*

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Харина Анастасия Олеговна,*

E-mail: anastasiia.kharina@mail.ru

Неравномерно смачиваемые глинистые грунты – частая проблема, возникающая при строительстве зданий и сооружений. Укрепления глинистых грунтов является очень важной проблемой, требующей своего решения. Современная техника и понимание процессов, идущих в коллоидных глинистых растворах, позволяет создавать новые строительные технологии создания малоцементных и бесцементных глинистых грунтовых оснований, способных позволить отказаться от применения подземных железобетонных фундаментов при малоэтажном строительстве. Применение технологии укрепления глинистых грунтов с помощью современной техники позволяет решить экологические проблемы, стоящие перед человечеством за счет уменьшения объемов применения цементных бетонов и железобетона.

Ключевые слова: глина, глинистые грунты, укрепление грунта, диспергирование

MODERN METHODS OF STRENGTHENING CLAY SOILS

S.N. Zolotukhin, A.O. Kharina, A.A. Stukalin*

*Voronezh State Technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, 20-letia Oktjabrya st., 84*

**Corresponding author: Anastasia O. Kharina, E-mail: anastasiia.kharina@mail.ru*

Unevenly wetted clay soils are a common problem that occurs during the construction of buildings and structures. Strengthening clay soils is a very important problem that needs to be solved. Modern technology and understanding of the processes going on in colloidal clay solutions, allows you to create new construction technologies for the creation of low-cement and cement-free clay soil foundations that can allow you to abandon the use of underground reinforced concrete foundations. The creation of technology for strengthening clay soils with the help of modern technology makes it possible to solve the environmental problems facing humanity.

Keywords: clay, clay soils, soil strengthening, dispersion

Введение. Одним из направлений решения проблемы доступного жилья и увеличения объемов его строительства является использование недорогих материалов и технологий строительства, позволяющих снизить стоимость строительства, а так же использования недорогой земли, которой, как правило, в городах, являются подтапливаемые, заболоченные территории, имеющих в своем основании глинистые грунты. Все здания стоят на грунте, поэтому от свойств грунта, на которых они построены, зависит их надежность и долговечность их эксплуатации. Глинистые грунты при неравномерном смачивании и различных нагрузках имеют неоднородные осадки, поэтому в настоящее время при строительстве на неоднородных грунтах часто применяются монолитные железобетонные или свайные фундаменты. Железобетон достаточно дорогостоящий материал, создание которого сопровождается выбросами углекислого газа в атмосферу земли. Понимание необходимости снижения объемов выбросов углекислого газа в атмосферу земли требует уменьшения объемов использования железобетона. Для решения этой проблемы при строительстве малоэтажных зданий достаточно укрепить грунты оснований и выполнить мелко заглублённые конструкции фундаментов, переходящих в цоколь здания. Важной проблемой современности является огромные объемы свалок твердых бытовых отходов. Известно, что строительный мусор заполняет от 40 до 70 % объемов свалок

ТБО. При этом двухтысячелетний опыт устройства фундаментов под историческими зданиями (Рим, Киев Москва, Лондон, Берлин и д. р.) до появления цементов говорит о возможности устройства фундаментов без цемента. Поэтому разработка новых технологий укрепления грунтов с использованием современной техники, учитывающей опыт устройства фундаментов до появления цементов из каменных материалов, образующихся при сносе зданий на подтапливаемых заболоченных территориях является актуальной проблемой, требующей своего решения.

Цели работы

- Снижение стоимости и увеличение объёмов строительства доступного жилья;
- Уменьшение объёмов строительного мусора, вывозимого на городские свалки;
- Разработка технологии укрепления неравномерно смачиваемых глинистых грунтов с использованием современной техники.

Актуальность проекта

- Увеличение объёмов строительства доступного жилья в регионах.
- Создание новых рабочих мест за счет увеличения объёмов строительства по технологии повторного использования строительных материалов.
- Существенное сокращение объёмов вывозимого мусора на свалки города.
- Необходимость устройства недорогих оснований внутрипоселковых дорог, площадок и т.п. с малой интенсивностью автомобильного движения.
- Необходимость снижения себестоимости квадратного метра возводимого жилья.
- Уменьшение стоимости строительства за счет низкой цены материалов.
- Снижение логистических затрат при строительстве малоэтажных зданий.

Основная часть

Грунт – это слой, который воспринимает на себя сумму всех нагрузок от сооружения. Наличие нестабильных глинистых грунтов на подтапливаемых территориях, способных при неравномерном смачивании давать неравномер-

ные осадки в настоящее время заставляет строителей устраивать монолитные железобетонные фундаменты, а иногда и свайные фундаменты, что резко поднимает стоимость их устройства.

Современная землеройная техника позволяет решить проблему неравномерных осадок глинистых грунтов за счет выполнения работ по их укреплению. Существуют различные методы укрепления грунта, одним из таких методов, которые разрабатываются и внедряются учеными ВГТУ [1-7] является укрепление грунтов за счёт диспергирования глин путем их замачивания водой и добавления в диспергированные глинистые растворы пористых заполнителей, таких как бой шлакоблока, газосиликата и кирпича, образующихся при сносе зданий.

Рассмотрим примеры решения задач по созданию бесцементной технологии укрепления грунтов на подтапливаемой, заболоченной территории при строительстве жилого двухэтажного дома площадью 1200 м², расположенного по адресу г. Воронеж, ул. Максима Горького, д. 111.

Площадка строительства располагалась на подтапливаемой территории, находящейся на берегу воронежского водохранилища (рис. 1). Причиной подтопления является большой перепад высоты, направленный в сторону Воронежского водохранилища, наличие глинистых макропористых грунтов, сброс техногенных вод, канализационных стоков из сливных ям по рельефу местности.



Рис. 1. Расположение участка застройки с направлением течения подземных вод

Такие грунтовые условия привели к появлению на участке застройки неоднородных грунтов оснований с наличием органики и делали строительство по обычным технологиям с устройством сборных, монолитных, свайных фундаментов невозможным. Поэтому заказчики обратились на кафедру строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Борисова Ю.М.

Проблемы устройства фундаментов в данных гидрогеологических условиях было решено следующим образом:

Работы начинались в ноябре-декабре месяце, когда тяжелая землеройная техника смогла начать работать благодаря замерзшему грунту на болотистой почве. Изначально были сняты органические намывные грунты, находящиеся на поверхности земляного участка. Рытье выполнялось по рельефу местности с обнажением глинистых грунтов. Органические грунты были вывезены с территории строительной площадки (рис. 2). После чего на глубину до 1,5 м происходило замешивание оставшегося глинистого грунта с подземными водами, которые образовывались при рытье котлована (рис. 3). Данные грунты в последующий зимний период были заморожены, что после их размораживания в теплый период времени на следующий год, они были качественно диспергированы. Известно, что диспергированные глины являются высокоактивными минеральными компонентами, обладающие огромным значение свободной поверхностной энергии [8].



Рис. 2. Рытье котлована до глинистых грунтов



Рис. 3. Замешивание глинистого грунта с подземными водами

Понимание того что за счет объемного укрепления диспергированных глинистых грунтов можно получить однородные грунты, повысив их прочностные показатели, в том числе модуль упругости, то мы можем отказаться от использования монолитных железобетонных фундаментов, поэтому в ЦКП ВГТУ силами сотрудников кафедры СКО и Ф им. профессора Борисова Ю.М. были проведены лабораторные исследования по изменению прочностных показателей диспергированных глинистых грунтов с использованием боя каменных материалов, образующихся при сносе жилого по национальной программе «Аварийное жилье».

При лабораторных исследованиях изменения свойств глинистых грунтов было отмечено, что расчетное сопротивление обычного образца глины равно 0,2-0,3 МПа, с модулем упругости 20-30 МПа. Глинистый композит, полученный при перемешивании, уплотнении и высушивании глинистого раствора с каменным боем шлакоблока, кирпича достигала 2-6 МПа с ростом модуля упругости до 100-300 МПа, при этом так же глинистые грунты из макропористых материалов, по которым текла вода, переходили в состояние глиняной завесы, которая не пропускала воду (рис. 4). Обычное высушивание глинистых растворов их перемешиванием с известью или цементом из-за огромных объемов глиняной массы на строительной площадке (15тыс. м³) было экономически не целесообразно.

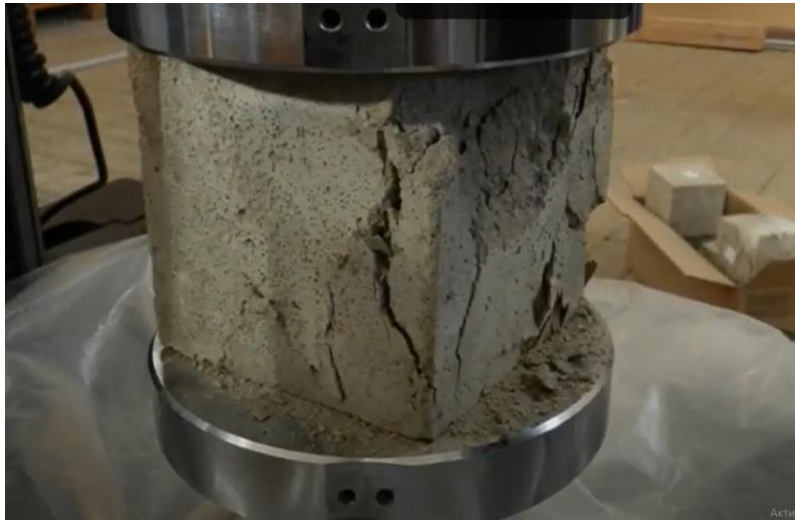


Рис. 4. Определение прочностных характеристик глистного композита

Имея лабораторные данные по укреплению глинистых растворов боем каменных материалов, было принято решение участвовать в тендере по сносу жилого дома, который снолся по национальной программе «Аварийное жилье», где в качестве стеновых материалов использовались шлакоблок и кирпич. Снос производился методом поэлементного демонтажа с завозом образовавшихся при этом железобетонных плит и боя каменных материалов непосредственно на строительную площадку (рис. 5-7). Все эти материалы было решено использовать при укреплении грунтов оснований и устройстве плитных фундаментов.



Рис. 5. Поэлементный демонтаж здания



Рис. 6. Поэлементный демонтаж здания



Рис. 7. Разбор кирпичных стен

При завозе каменных материалов происходила их сортировка, когда целый кирпич и шлакоблок отсортировывался и использовался при строительстве стен здания (рис.8).



Рис. 8. Сортировка кирпича

Железобетонные плиты перекрытия после их демонтажа визуально обследовали и определяли их прочностные показатели. Неразрушающие методы контроля бетона производили непосредственно на строительной площадке (рис. 9).



Рис. 9. Определение прочностных характеристик ж/б плит

Разрушающие методы контроля выполняли в центре коллективного пользования ВГТУ. Выполненные лабораторные исследования показали, что прочность кирпича за время эксплуатации не снизилась и ровнялась 10-12 МПа,

прочность бетона и железобетонных конструкций была от 50 до 75 МПа, прочность арматуры равнялась 230-250 МПа (рис. 10-11).



Рис. 10. Определение прочностных характеристик арматуры

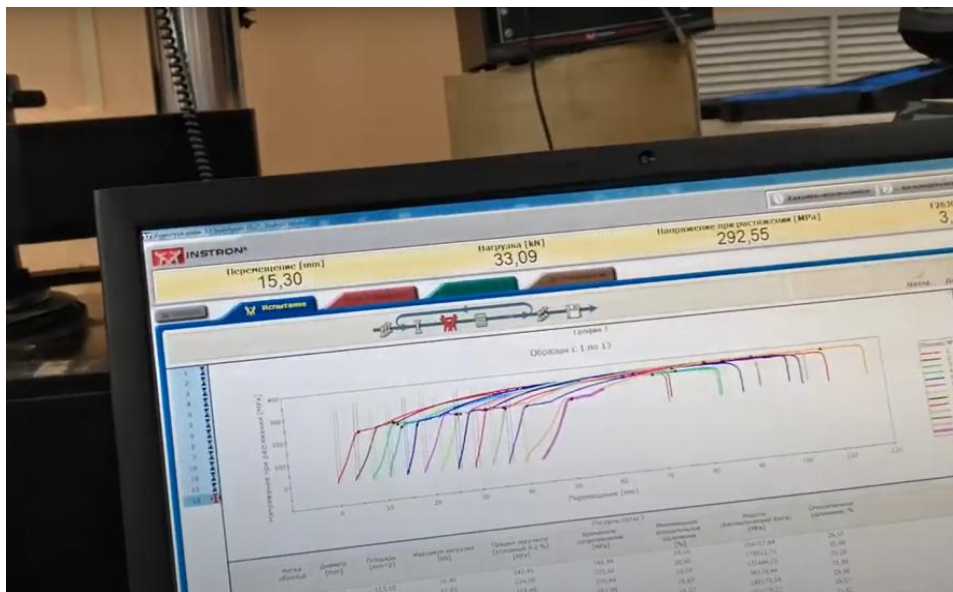


Рис. 11. Результаты испытания арматуры

Сортировка железобетонных элементов привела к тому, что ж/б плиты, имеющие дефекты, было решено использовать в качестве плитных конструкций фундаментов (рис.12), строящегося здания, плиты, не имеющие дефектов, использовались в качестве плит перекрытия и покрытия повторно.



Рис. 12. Повторное использование ж/б плит в качестве плитных конструкций фундаментов



Рис. 13. Общий вид строительной площадки

Применение технологии объемного укрепления глинистых грунтов, повторного применения строительных материалов изделий и конструкций, образующихся при поэлементном сносе, позволило выполнить строительство на заболоченном участке и резко снизить стоимость строительства (рис.14).

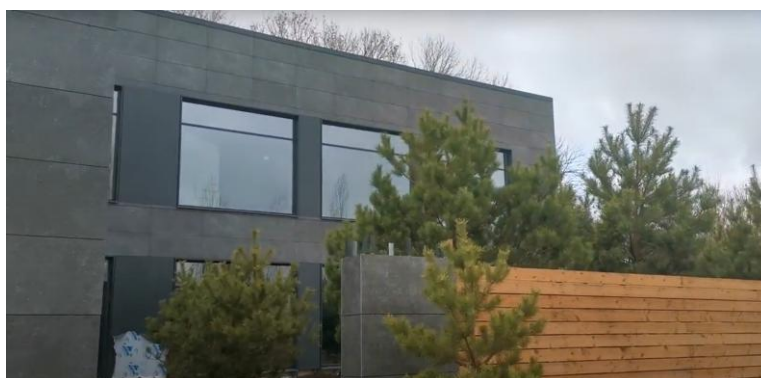


Рис. 14. Построенное здание

Заключение. Несмотря на то, что неравномерно смачиваемые глинистые грунты являются ненадёжными грунтами, их можно использовать в качестве основания для фундаментов разной сложности. Современные технологии и методы укрепления грунтов позволяют изменить первоначальные условия, снизить затраты и решить сложные инженерные задачи и экологические проблемы.

Экспериментальные исследования проводились с использованием специализированного оборудования Центра коллективного пользования им. профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета, который частично поддерживается Министерством науки и образования Российской Федерации.

Список литературы

1. «Специальные способы строительства выработок» Ю.А. Пшеничный. Донецк: ДОННТУ, 2018. 209 с. <http://www.bkdelta.by/ru/technologies/cementaciya-gruntov-jet-grouting>
2. Клевеко В.И., Пикулева В.О. Применение технологии «Jet-grouting» на примере искусственного водопонижения подземного резервуара в г.Краснодар [Электронный ресурс] <http://technology.snauka.ru/2017/05/13327>.
3. Патент № 2656656 «Способ объемной цементации грунтов» Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С.
4. Патент № 2641356 «Конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями» Иконин С.В., Сухотерин А.В.
5. Прокопов А.Б., Маслов С.А., Золотухин С.Н. Методы укрепления глинистых грунтов // Современные научные исследования и инновации. 2019. № 12 / Е. Г. Величко, Д. Ф. Толорая, 199 / К вопросу гидромеханохимической активации цемента при производстве бетона.
6. Чернышов, Е.М. Портландитовые и портландито-карбонатные бесцементные системы твердения (ч. 1) / Е.М. Чернышов, Н. Д. Потамошнева, О.Б.

Кукина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. М., 2002. № 4.

7. Dasic G. Development of hazardous waste management system, including the identification and management of «hot spot sites» in Croatia. Zagreb: PHARE, 2009. 49 p.

8. The experimental studies were carried out using the facilities of the Professor Borisov Centre for Collective Use, Voronezh State Technical University which is partly supported by the Ministry of Science and Education of the Russian Federation.

Золотухин Сергей Николаевич – доцент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени проф. Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Харина Анастасия Олеговна – студентка группы МИОФ-211 строительного факультета Воронежского государственного государственного технического университета

Стукалин Андрей Александрович – студент группы МИОФ-211 строительного факультета Воронежского государственного государственного технического университета

МЕХАНИКА

УДК 621.315.592

**ЗАВИСИМОСТЬ МИКРОТВЕРДОСТИ И ПЛОТНОСТИ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА N-ТИПА ПРОВОДИМОСТИ
ОТ УГЛА ОБРАЗУЮЩЕЙ КОНУСА ФИЛЬЕРЫ, ПОЛУЧЕННОГО
МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ**

В.А. Юрьев*, Ю.Е. Калинин

*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

**Адрес для переписки: Юрьев Владислав Александрович,*

E-mail: vlad.yriev@yandex.ru

В работе проведено исследование зависимости плотности (ρ) термоэлектрического материала n-типа проводимости от угла образующей конуса фильеры (2θ), полученного методом экструзии. Установлено, что увеличение 2θ фильеры с 30° до 70° способствует росту давления процесса, а также увеличению плотности и микротвердости термоэлектрического материала. Оценена микротвердость по методу Виккерса и методом гидростатического взвешивания измерена плотность полученных образцов. Выявлено, что при максимальном угле $\rho = 7,3 \text{ г/см}^3$ и максимально приближена к теоретической плотности термоэлектрического материала. Описано и охарактеризовано изменение давления в процессе экструдирования.

Ключевые слова: термоэлектричество, экструзия, твердые растворы, плотность, микротвердость

**DEPENDENCE OF THE DENSITY OF THE THERMOELECTRIC
MATERIAL OF N-TYPE CONDUCTIVITY ON THE ANGLE OF THE
DIE CONE GENERATED BY THE EXTRUSION METHOD**

V.A. Jur'ev, Ju.E. Kalinin*

Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktiabria, 84

**Corresponding author: Vladislav A. Jur'ev, E-mail: vlad.yriev@yandex.ru*

In this work, we studied the dependence of the density (ρ) of an n-type thermoelectric material on the angle of the spinneret cone generatrix (2θ) obtained by extrusion. It has been established that an increase in the 2θ die from 30° to 70° contributes to an increase in the process pressure, as well as an increase in the density and microhardness of the thermoelectric material. The microhardness was estimated by the Vickers method and the density of the samples obtained was measured by hydrostatic weighing. It was found that at the maximum angle $\rho = 7.3 \text{ g/cm}^3$ and is as close as possible to the theoretical density of the thermoelectric material. The change in pressure during extrusion is described and characterized.

Keywords: thermoelectricity, extrusion, solid solutions, density, microhardness

Введение. В современном мире охлаждение силовых микросхем является основой в построении сложного радиоэлектронного оборудования. В системах, где нет возможности организовать жидкостный отвод тепла, либо занимающие большую площадь радиаторы используются термоэлектрические модули охлаждения (ТЭМО). Они обладают рядом преимуществ, таких как высокая устойчивость к внешним вибрационным воздействиям, небольшая потребляемая мощность, простота установки и время безотказной работы при требуемых сроках эксплуатации изделия [1]. Основой таких ТЭМО являются термоэлектрические ветви n- и p-типа проводимости, изготовленные на основе твердых растворов халькогенидов висмута и сурьмы. Для охлаждения небольших микросхем требуются миниатюрные модули, а, следовательно, и сечение ветвей может достигать $0,1 \text{ мм}^2$, а высотой до $0,3 \text{ мм}$. При их производстве сталкиваются с главной проблемой – хрупкостью термоэлектрического материала, так как он имеет слоистую структуру [2].

В промышленном производстве материал р-типа получают горячим прессованием и его механической прочности достаточно, чтобы изготовить пластины с толщиной 0,3 мм и разрезать на ветви с сечением 0,1 мм², но при этом термоэлектрическая добротность не выше $2,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Материал n-типа в большинстве случаев получают методом зонной перекристаллизации, но получаемые поликристаллические слитки невозможно разрезать на пластины толщиной менее 1 мм вследствие наличия в них плоскостей спаянности. Метод экструзии позволяет получать термоэлектрический материал с добротностью не менее $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ и с достаточной механической прочностью [3].

Основными факторами в технологическом процессе экструзии, влияющими на механическую прочность и т/э свойства материала, являются температура, давление, скорость плунжера пресса и угол образующей конуса фильеры. В данной работе рассмотрена зависимость плотности материала от угла образующей фильеры в термоэлектрическом твердом растворе $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,5}\text{Se}_{0,5}$.

Экспериментальная часть

Для исследования зависимости плотности от угла образующей фильеры в технологическом процессе экструзии был выбран термоэлектрический материал n-типа проводимости состава $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,5}\text{Se}_{0,5}$. Исходные компоненты сплавлялись в вакуумированной и герметизированной кварцевой ампуле в качающейся печи при температуре 750°C. Синтезированный материал измельчался в вихревой мельнице и просеивался через сита с ячейками 0,5 и 0,2 мм. Затем проводилось брикетирование при давлении 2 т/см². Полученные цилиндрические заготовки с диаметром 40 мм. продавливались через фильеры с разным углом образующей конуса (2θ) с выходным отверстием 15 мм. при температуре 400-420°C и скорости движения плунжера 0,02 - 0,05 мм/с на испытательном прессе ИП-2500М. Форма фильеры, помещаемой в тело матрицы пресс-формы, представлена на рис. 1.

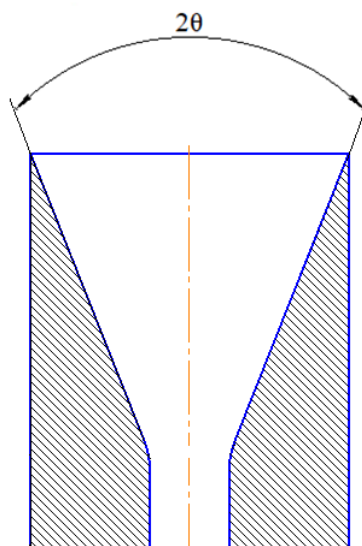


Рис. 1. Фильера, помещаемая в тело матрицы пресс-формы

Аттестация образцов проводилась методом дифракции рентгеновских лучей на приборе «Bruker D2 Phaser». Измерение плотности образцов проводилось гидростатическим взвешиванием. График зависимости давления получен при помощи программного обеспечения, поставляемого с испытательным прессом. Микротвердость определялась по глубине проникновения алмазного индентора по методу Виккерса на микроскопе ПМТ-3.

Результаты и их обсуждение

Для определения фазового состава полученных образцов термоэлектрического материала n-типа проводимости состава $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,5}\text{Se}_{0,5}$ методом рентгенофазового анализа, слитки разрезались струнной абразивной резкой на «шайбы» перпендикулярно оси экструзии. На рис. 2 представлена рентгенограмма синтезированного образца.

Представленная на рис. 2 дифрактограмма термоэлектрического материала подтверждает наличие фазы $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,5}\text{Se}_{0,5}$, что соответствует заданной стехиометрии первоначально синтезированного состава.

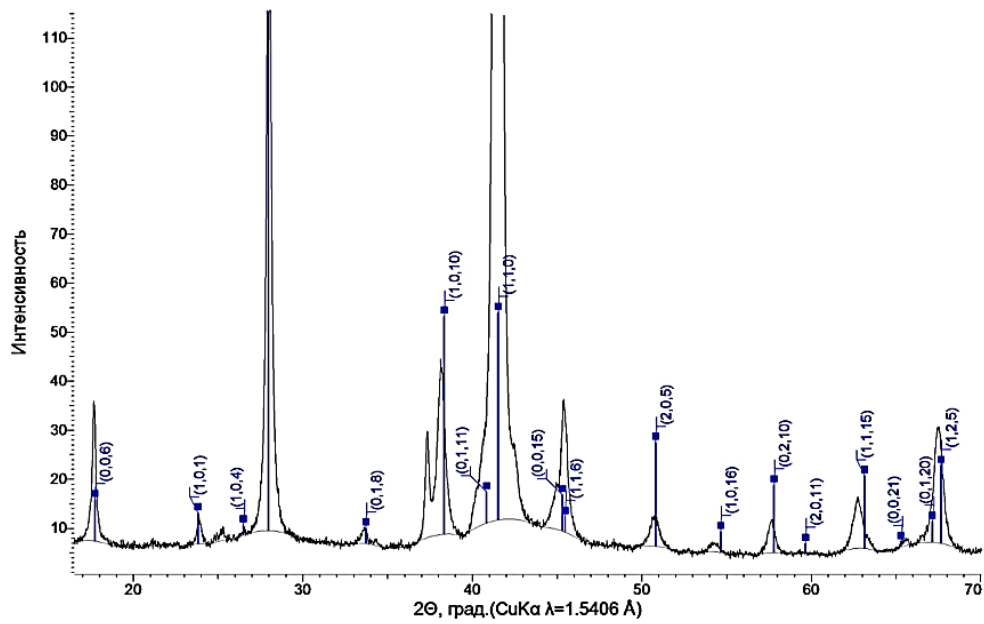


Рис. 2. Картина рентгеновской дифракции образца $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.5}\text{Se}_{0.5}$

Представленный на рис. 3 график процесса экструзии можно разделить на два последовательных периода:

- 1 период – заполнение конуса фильеры и уплотнение материала;
- 2 период – течение основной массы через выходное отверстие фильеры.

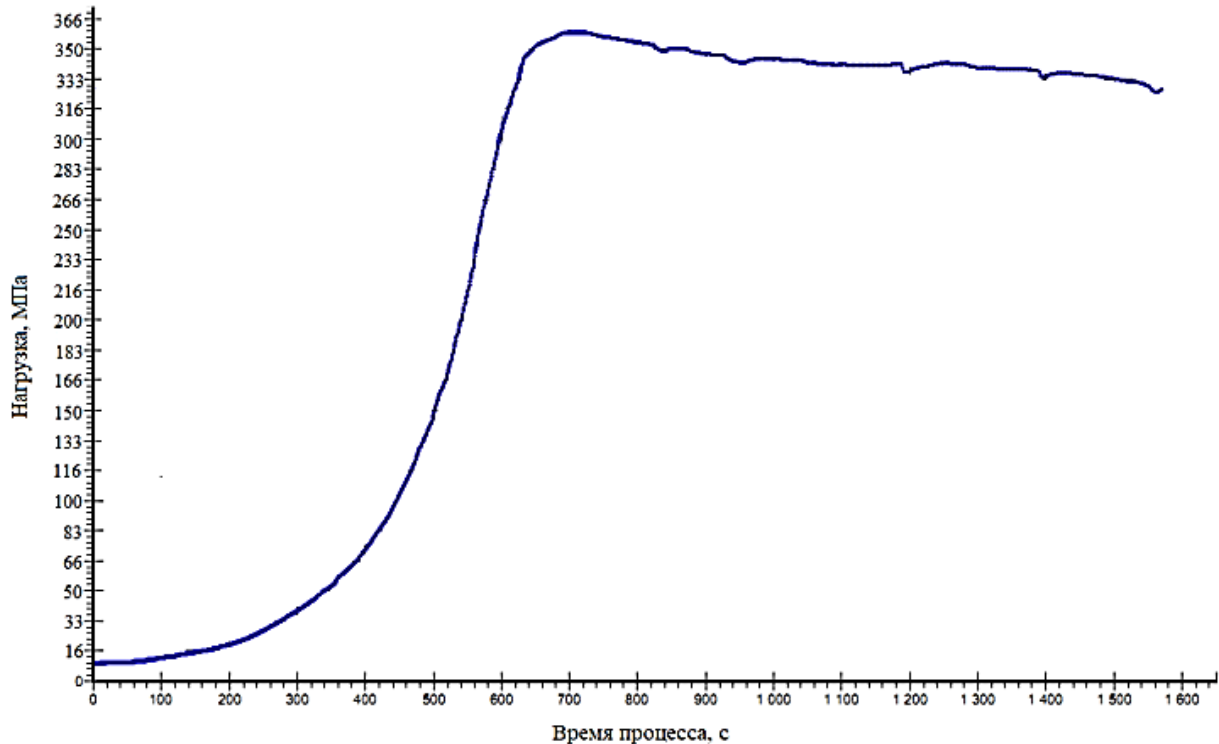


Рис. 3. График изменения давления во время процесса экструзии

Во время первого периода происходит значительный рост давления за счёт работы сил деформирования на уплотнение материала и преодоление сил трения о стенки матрицы. Как только достигается предельное давление для данной конструкции фильеры и коэффициента экструзии, начинается истечение материала через выходное отверстие фильеры. Давление постепенно снижается и начинается второй период. Падение давления связано с постепенным уменьшением количества исходного материала в контейнере, и, следовательно, уменьшению трения о стенки матрицы [4].

При выборе угла образующей конуса фильеры в первую очередь следует руководствоваться достижением условий, обеспечивающих минимальные силовые и энергетические затраты, минимум неравномерности деформаций, получение изделий с достаточной равномерной структурой по сечению. При экструзии термоэлектрических материалов через фильеры с большим углом ($2\theta > 90^\circ$) уменьшаются неравномерность деформации и разность скорости течения в центре и по периферии, исключается образование зон застоя, что способствует повышению качества изделий. Так же при уменьшении угла 2θ увеличивается отход материала в пресс-остаток и для изготовления подобных фильер расходуется большее количество дорогостоящего металла [5].

После проведения четырёх процессов экструзии были получены следующие данные плотности и микротвердости образцов термоэлектрического материала (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость давления, плотности и микротвердости полученных образцов от угла образующей конуса фильеры

Угол образующей конуса 2θ , °	Давление, МПа	Плотность, г/см ³	Микротвёрдость по Викерсу, МПа
30	251	6,6	410
50	285	6,8	440
60	298	6,9	530
70	366	7,3	600

Проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что при малых углах образующей конуса фильеры ($2\theta < 70^\circ$) давление не превышает 300 МПа. Так как сопротивление движению материала мало, необходимая переориента-

ция зерен, уплотнение и формирование текстуры не достигается. Полученные образцы имели радиальные трещины, хрупкие на излом и их последующая механическая обработка была нецелесообразна.

При использовании фильеры с углом $2\theta = 70^\circ$ был получен однородный слиток термоэлектрического материала с характерным металлическим блеском, без видимых сколов и трещин на поверхности. Дальнейшее исследование показало, что измеренная фактическая плотность ($7,3 \text{ г/см}^3$) образца близка к теоретической ($7,4 - 7,8 \text{ г/см}^3$) [6]. Измеренная микротвердость также подтверждает, что при малых углах образующей конуса фильеры достаточное упрочнение материала не достигается. По данным таблицы хорошо просматривается тенденция к увеличению микротвердости материала с увеличением угла 2θ , которая достигает 600 МПа при угле в 70° . Также была проведена успешная проверка пригодности материала для изготовления ветвей малого сечения путем электроэрозионной резки слитка на шайбы толщиной 0,2 мм.

Заключение. На основании полученных экспериментальным путем данных, можно сделать вывод, что для получения термоэлектрического материала с высоким показателем плотности путем проведения процесса экструзии необходимо учитывать множество факторов. Особенно на этот процесс влияет угол образующей конуса, который в свою очередь влияет на предельное давление процесса. Объяснен характер изменения давления в процессе экструзии. Показано, что при использовании фильеры с $2\theta = 70^\circ$ получен однородный слиток с $\rho = 7,3 \text{ г/см}^3$ и микротвердостью равной 600 МПа, соответствующий всем критериям для изготовления термоэлектрических ветвей малого сечения.

Список литературы

1. Thermoelectrics handbook. Macro to nano / Edited by D.M. Rowe // London New York: Visit the Taylor & Francis, 2006. Web site at <http://www.taylorandfrancis.com>.

2. Структура и механические свойства компактированных полупроводников на основе твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$, полученных в процессе горячего прессования и последующих обработок поверхности / В.А. Дыбов [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14. № 6. С. 191-196.
3. Гольцман Б.М., Кудинов В.А., Смирнов И.А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 . М.: Наука, 1972. 320 с.
4. Простомолов А.И., Вerezуб Н.А. Динамическое моделирование пластического формования термоэлектрического материала методом горячей экструзии // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. Т. 21, № 3. С. 818-821.
5. Павлов В.А., Кипарисов С.С., Щербина В.В., Обработка давлением порошков цветных металлов. М.: Металлургия, 1977. 176 с.
6. Охотин А.С., Ефремов А.А., Охотин В.С., Пушкарский А.С. Термоэлектрические генераторы // М.: Атомиздат, 1971. 288 с.

References

1. Thermoelectrics handbook. Macro to nano / Edited by D.M. Rowe // London New York: Visit the Taylor & Francis, 2006. Web site at <http://www.taylorandfrancis.com>.
2. Structure and mechanical properties of compacted semiconductors based on the $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ solid solution obtained during hot pressing and subsequent surface treatments / V.A. Dybov [et al.] // Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2018. V. 14. No. 6. S. 191-196. (in Russian).
3. Goltsman B.M., Kudinov V.A., Smirnov I.A. Semiconductor thermoelectric materials based on Bi_2Te_3 . М.: Nauka, 1972. 320 p. (in Russian).
4. Prostomolov A.I., Verezub N.A. Dynamic modeling of plastic molding of thermoelectric material by hot extrusion // Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences. 2016. V. 21, No. 3. S. 818-821. (in Russian).

5. Pavlov V.A., Kiparisov S.S., Shcherbina V.V., Pressure treatment of non-ferrous metal powders. Moscow: Metallurgy, 1977. 176 p. (in Russian).

6. Okhotin A.S., Efremov A.A., Okhotin V.S., Pushkarsky A.S. Thermoelectric generators // М.: Atomizdat, 1971. 288 p. (in Russian).

Юрьев Владислав Александрович – аспирант кафедры твердотельной электроники Воронежского государственного технического университета

Калинин Юрий Егорович – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры твердотельной электроники Воронежского государственного технического университета

ЭКОЛОГИЯ

УДК 621.675

**ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВНЕШТАТНЫХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ
НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*Д.М. Яковлева*¹, И.М. Винокурова¹, С.Н. Букша²*

¹Воронежский государственный технический университет,

Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-лет Октября, 84

²ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и

Ю.А. Гагарина»,

Российская Федерация, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

**Адрес для переписки: Яковлева Дарья Михайловна,*

E-mail: dadadada_pochta@mail.ru

Современное предприятие нефтепереработки и нефтехимии представляет собой сложный комплекс, состоящий из технологических установок, предназначенных для выполнения конкретных технологических операций. В качестве сырья, продуктов и полуфабрикатов установок нефтепереработки выступают смеси углеводородов, которые обладают взрывопожароопасными свойствами. На всех стадиях нефтепользования, начиная от разведки и добычи нефти и кончая утилизацией её отходов, в той или иной мере за счет разливов нефти, а также выбросов вредных веществ в атмосферу, водную сферу, и на сушу происходит загрязнение окружающей среды, отрицательное воздействие на здоровье людей. Чтобы избежать этих последствий, необходимо принимать меры по предотвращению аварийных ситуаций и устранению последствий в случае их возникновения, проводить профилактические беседы с сотрудниками, имеющими как прямое, так и косвенное отношение к нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: нефтегазовое предприятие, аварийные ситуации, комплексные методы защиты от коррозии, покрытие, электрозащита

PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS AT OIL AND GAS ENTERPRISES

*D.M. Yakovleva*¹, I.M. Vinokurova¹, S.N. Buksha²*

Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, 20-letiiia Oktiabrya st., 84

²Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin,

Russian Federation, 394064, Voronezh, ul. Starykh Bolshevikov, 54a

** Corresponding author: Yakovleva Darya Mikhailovna,*

E-mail: dadadada_pochta@mail.ru

A modern oil refining and petrochemical enterprise is a complex consisting of technological installations designed to perform specific technological operations. The raw materials, products and semi-finished products of oil refining plants are mixtures of hydrocarbons that have explosive and fire-hazardous properties. At all stages of oil use, starting from oil exploration and production and ending with the disposal of its waste, in one way or another due to oil spills, as well as emissions of harmful substances into the atmosphere, the water sphere, and on land, environmental pollution occurs, a negative impact on human health. To avoid these consequences, it is necessary to take measures to prevent emergencies and eliminate the consequences in case of their occurrence, to conduct preventive conversations with employees who have both direct and indirect relation to the oil and gas industry.

Keywords: oil and gas enterprise, emergency situations, complex methods of corrosion protection, coating, electrical protection

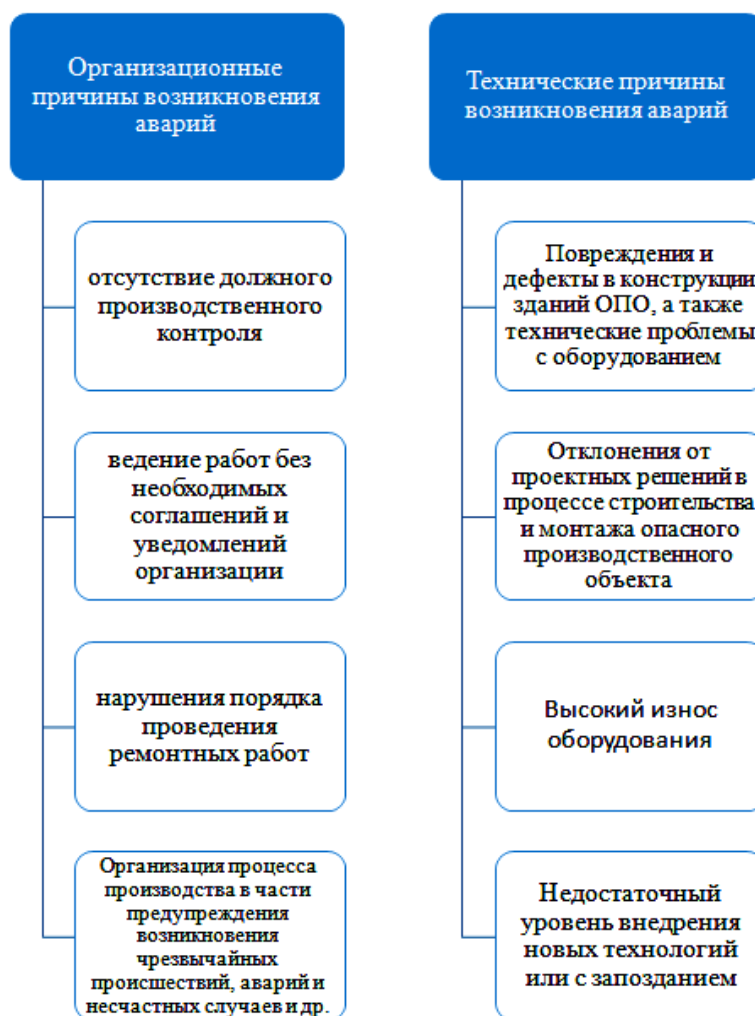
Введение. В современном развитом обществе, которое имеет большие производственные возможности в создании и разработки новых технологических

площадок и комплексов машиностроительного нефтегазового оборудования по обслуживанию безопасной и экологически чистой технологии добычи, транспортировки, переработки и хранения нефтегазовых продуктов, возникают предпосылки [1-19] для созданий более модифицированных средств обеспечения защиты в данной сфере отрасли.

При эксплуатации любого производственного объекта повышенной опасности всегда существует возможность возникновения серьезных чрезвычайных происшествий, аварий, технических инцидентов. Множество аварийных ситуаций было связано с человеческим фактором, со стихийными факторами природного и техногенного характера, естественными разрушениями металлов за счет старения изделия и возникновения внештатных непредсказуемых ситуаций.

Начнём с самого главного, что является корнем проблемы, а именно причины возникновения аварий в данной отрасли.

Причины возникновения аварий:



Рассмотрим и изучим известные данные по ущербу одних из самых масштабных аварий нефтегазовой отрасли, к которым относятся: разливы на большие территории большой морской глади рис.1 а, б и разрушения связанные с внештатными ситуациями (взрывами) на нефтегазовых платформах рис.1 в, г.

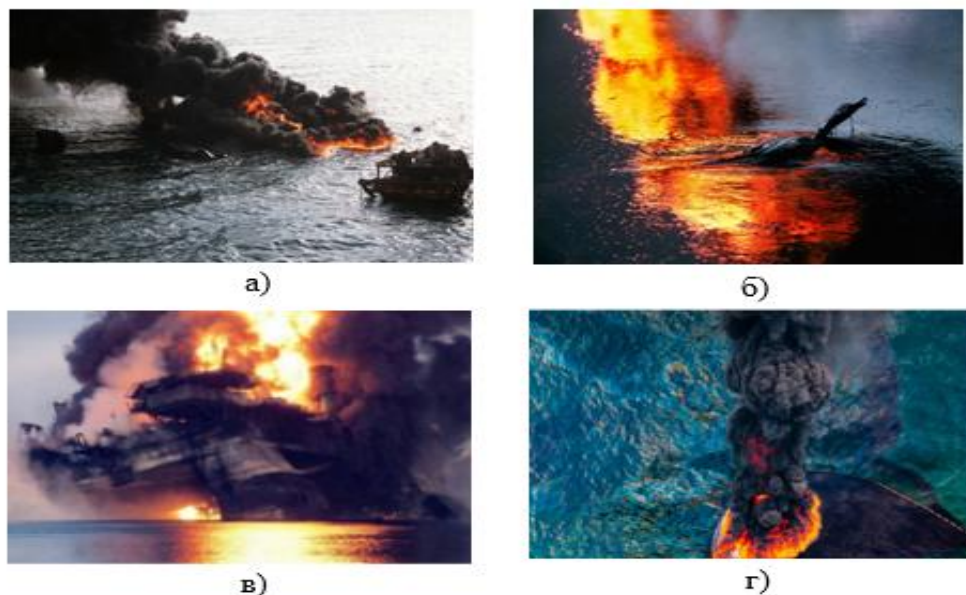


Рис. 1. Аварийные ситуации на морской глади

Примером является: разлив нефти во время войны в Персидском заливе во время войны в Персидском заливе в 1991 году, когда иракские войска вышли из Кувейта, они открыли трубопроводы и клапаны нефтяных скважин и устроили пожар в качестве меры для блокировки соперника в этом районе.

В результате примерно 240 миллионов галлонов нефти, как полагают, были сброшены в Персидский залив, погубив сотни рыб и морских млекопитающих. В Кувейте, Турции, ОАЭ шли черные дожди. На «высыхание» 320 озер ушло все последующее десятилетие. По оценке ВВС, в результате войны произошла одна из самых тяжелых экологических катастроф в истории.

Другим примером является: взрыв нефтяной платформы Deepwater Horizon. В момент взрыва на установке Deepwater Horizon погибло 11 человек и пострадало 17 из 126 человек, находившихся на борту. В конце июня 2010 г. появились сообщения о гибели еще 2 человек при ликвидации последствий катастро-

фы. Через повреждения труб скважины на глубине 1500 м в Мексиканский залив за 152 дня вылилось около 5 млн. баррелей нефти, нефтяное пятно достигло площади 75 тыс. кв. км, что составляет около 5% площади Мексиканского залива.

Человеческий фактор является причиной до 70 % осложнений и аварий в нефтегазовом производстве. На официальном сайте Ростехнадзора представлена информация об авариях на объектах нефтегазовой отрасли за последние восемь лет (рис.2). Путём исследований и наблюдений было выявлено, что за период 2017-2021 произошло порядка 260-ти аварий. Ниже мы можем наблюдать общую статистику аварий на объектах нефтегазовой отрасли за данный период:

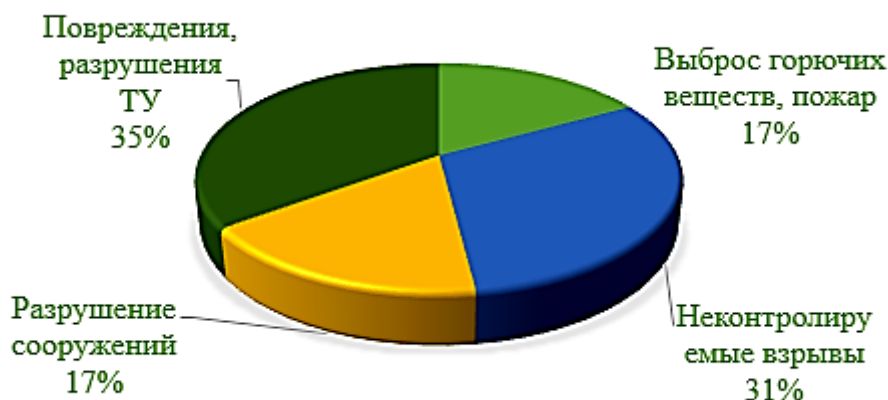


Рис. 2. Общая статистика аварий на объектах нефтегазовой отрасли на 2017-2021 года

Одной из зарекомендовавшихся по частоте возникновения причин аварийных внештатных ситуаций является коррозионное разрушение металлов оборудования [5-15], вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой.

Наиболее распространёнными видами коррозии для нефтегазового промысла является: электрохимическая, водородная, кислородная и химическая коррозия [2-4, 10, 12-14].

Остановимся более детально на вопросе защиты оборудования нефтегазового промысла от коррозионных разрушений. Идеальная защита от коррозии на 80 % обеспечивается правильной подготовкой поверхности [8, 10, 15], и только

на 20 % качеством используемых лакокрасочных материалов и способом их нанесения [16, 18, 19]. Классически рассматривают три направления методов защиты от коррозии:

- конструкционный	- активный	- пассивный
-------------------	------------	-------------

Для предотвращения коррозии в качестве конструкционных материалов применяют нержавеющие стали, кортеновские стали, цветные металлы. При добавлении небольшого количества хрома в сталь на поверхности металла образуется оксидная плёнка. Содержание хрома в нержавеющей стали – более 12 %. При проектировании конструкции стараются максимально изолировать от попадания коррозионной среды, применяя клеи, герметики, резиновые прокладки. Активные методы борьбы с коррозией направлены на изменение структуры двойного электрического слоя. Применяется наложение постоянного электрического поля с помощью источника постоянного тока, напряжение выбирается с целью повышения электродного потенциала защищаемого металла. Другой метод – использование жертвенного анода (протекторная защита), более активного материала, который будет разрушаться, предохраняя защищаемое изделие.

При изучении кислородной коррозии оцинкованного железа мы наблюдаем красочное покрытие, полимерное покрытие и эмалирование должны, прежде всего, предотвратить доступ кислорода и влаги. Часто также применяется покрытие, например, стали другими металлами, такими как цинк, олово, хром, никель. Цинковое покрытие защищает сталь даже когда нарушено целостность покрытия. Цинк имеет более отрицательный потенциал и корродирует - первым. Соединения с продуктами цинка (Zn^{2+}) очень токсичны. Иллюстративный пример нарушения цинкового покрытия железного изделия представлен на рис. 3.

Другим общеприменимым методом защиты металл от коррозии – применение защитного электрода с большим отрицательным потенциалом, например, из цинка или магния. Для этого специально создаётся коррозионный элемент. За-

защищаемый металл выступает в роли катода, и этот вид защиты называют катодной защитой. Растворяемый электрод, называют, соответственно, анодом протекторной защиты. Этот метод применяют для защиты от коррозии морских судов, мостов, котельных установок, расположенных под землёй труб. Для защиты корпуса судна на наружную сторону корпуса крепят цинковые пластинки.

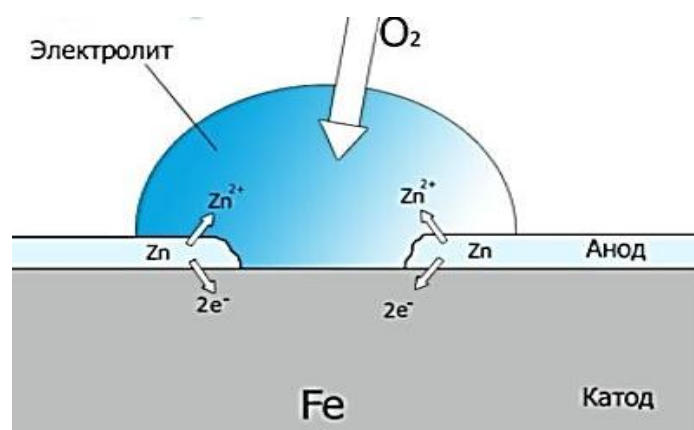


Рис. 3. Коррозия оцинкованного железа

Следующим методом, хорошо зарекомендовавшим себя и закрепившимся по производству в технологиях, является газотермическое напыление. С помощью газотермического напыления на поверхности металла создается слой из другого металла/сплава, обладающий более высокой стойкостью к коррозии (изолирующий) или наоборот менее стойкий (протекторный), позволяющий остановить коррозию защищаемого металла. Технология метода нанесения газовой струёй на поверхность изделия на огромной скорости частиц металлической смеси рис. 4, (например, цинк) позволяет получить защитный слой толщиной от десятков до сотен микрон.

Для получения диффузионного слоя необходимой толщины разрабатывают технологии регулировки изменения температуры во время процесса цинкования, диффузионное цинкование, осуществляемое из паровой или газовой фазы при высоких температурах (375-850°C), или с использованием разрежения (вакуума) – при температуре от 250°C, применяется для покрытия крепёжных изделий, труб, деталей арматуры и др. конструкций. Толщина диффузионного

слоя зависит от температуры, времени, способа цинкования и может составлять 0,01-1,5 мм. Современный процесс диффузионного цинкования позволяет образовывать покрытие на резьбовых поверхностях крепёжных изделий, без затруднения их последующего свинчивания.

Микротвёрдость слоя покрытия: $H\mu = 4000-5000$ МПа.

Диффузионное цинковое покрытие также значительно повышает жаростойкость стальных и чугунных изделий при температуре до 700°C . Возможно получение легированных диффузионных цинковых покрытий, применяемое для повышения их служебных характеристик.

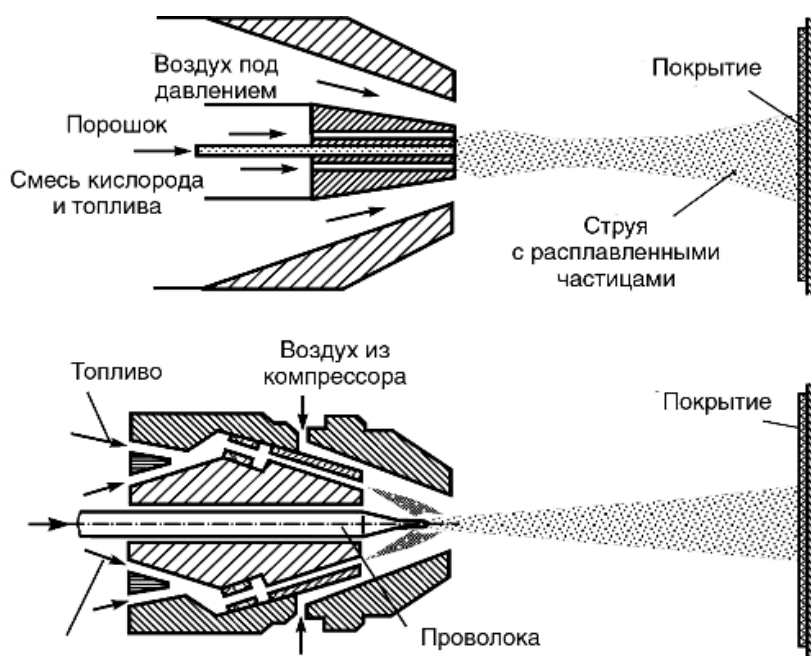


Рис. 4. Газотермическое напыление [2, 10, 15]

Следующими методами защиты являются кадмирование и хромирование. Покрытие стальных деталей кадмием производится методами, аналогичными цинкованию, но даёт более сильную защиту, особенно в морской воде. Применяется значительно реже из-за значительной токсичности кадмия и его дороговизны. Также покрывают тонким слоем оксида меди, что предотвращает дальнейшее размножение коррозии. Хромирование: покрытие стальных деталей хромом [10, 15].

Для того чтобы снизить или в корне предотвратить аварии такого рода и не только необходимо рассматривать, но и разрабатывать новые комплексные методы защиты предприятий и оборудования. Например, создание перспективной автоматизированной системы предупреждения осложнений и аварийных ситуаций на всех этапах жизненного цикла нефтяных и газовых скважин на основе применения комплекса современных умных (Smart) технологий. Преимущество применения технологий искусственного интеллекта для решения задач выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин заключается в том, что в ходе их создания и обучения с заданной точностью выявляются явные и скрытые закономерности между геолого-геофизическими, техническими и технологическими параметрами, что позволяет обеспечить эффективное формирование объемов данных от датчиков различных типов, используемых для измерения параметров в процессе бурения скважин, осуществляются с использованием нейросетевых технологий.

Предупреждение поглощений бурового раствора – одно из перспективных направлений для применения технологии умных микроконтейнеров, основной целью которых является использование умных микроконтейнеров для доставки специально подобранного закупоривающего материала, обладающего способностью к полимеризации, инициируемой теми или иными физическими факторами, что позволяет точно направить его к местам дислокации каналов и полостей поглощения и локализовать изолирующий компонент.

Функциональная схема автоматизированной системы предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин процесс применения бурового раствора с умными микроконтейнерами для борьбы с поглощениями представляется следующими технологическими этапами:



С учётом анализа за предыдущее время в нефтегазовой промышленности необходимо говорить о предотвращении аварийных ситуаций и невозможно указать ошибки прошлых лет, на которых стоит учиться. Учитывая проблемы возникшие на предприятии ООО «Газпром трансгаз Чайковский» 04.04.2022, а также последствия, с которыми приходится сталкиваться инженерному составу для устранения разрушений необходимо в обязательном порядке выполнять следующие требования:

1	проводить повторное внутритрубное диагностирование с применением электромагнитоакустических дефектоскопов;
2	рассматривать вопрос применения альтернативных методов диагностирования участков магистральных трубопроводов эксплуатируемых организацией;
3	проводить мониторинг участков магистральных газопроводов, эксплуатируемых организацией на предмет возникновения дефектов стресс-коррозии;
4	ужесточать контроль за техническим состоянием трубопроводов;
5	применять методы проведения ВТД (внешняя торговая деятельность) согласно технической документации, для получения достоверной информации о техническом состоянии трубопровода;
6	обеспечивать контроль за полнотой и достоверностью исследований при проведении ВТД и экспертизы промышленной безопасности трубопроводов для получения достоверной оценки и прогноза технического состояния объектов экспертизы;
7	получения достоверной оценки и прогноза технического состояния объектов экспертизы.

Заключение. С каждым годом число аварий идет на спад, однако общий экономический ущерб возрастает, что наводит на мысль о поиске новых идей их предотвращения.

Таким образом, за счет коррозионных разрушений происходят большие массовые потери связанных с восстановительными работами с работами основного технологического оборудования, поэтому требуется постоянный мониторинг возможных сбоев систем нефтегазового оборудования, введение новых программных обеспечений контроля, сбора и модернизации оптимизационных, защитных мер для своевременного предотвращения и локализации устранения возможной чрезвычайной ситуации. Из множества рассмотренных вариантов коррозии и её последствий разрушения судов, платформ и нефтегазовых установок и оборудования, на настоящее время более приемлемым является современный метод по использованию комплекса современных умных (Smart) технологий [1, 3, 5, 7-9, 11, 17, 18] и уже давно закрепившихся в практической деятельности методы защиты от коррозии.

Список литературы

1. Саломатин В.В., Лихобабин Р.Ю., Винокурова И.М. Разработка эффективных методов защиты насосного агрегата НПВ/ В.В. Саломатин, Р.Ю. Лихобабин, И.М. Винокурова // В сборнике: Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа сб. науч. тр. Акционерное общество «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». Воронеж, 2021. С. 124-130.

2. Саломатин В.В., Лихобабин Р.Ю., Винокурова И.М. Расчет параметров применения катодной защиты от внешнего источника тока / В.В. Саломатин, Р.Ю. Лихобабин, И.М. Винокурова // Сборник труд: Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа: сб. науч. тр. /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга», Воронеж. 2021. С.114-123.

3. Саломатин В.В., Винокурова И.М., Куликова О.В. Антикоррозионные материалы для защиты нефти и газотрубопроводов от коррозии / В.В. Саломатин, Р.Ю. Лихобабин, И.М. Винокурова // сборник тр. XVIII международная научно-практическая конференция. «Гражданская оборона и природно-технические системы. Воронеж, 2022. С. 432-436.

4. Алехин В.Ю., Абдулахунов А.А., Винокурова И.М. Расчет протекторной защиты нефтегазопровода / В.Ю. Алехин, А.А. Абдулахунов, И.М. Винокурова // сб. науч. тр. Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга», Вып. 11. Воронеж. 2022. С. 150-139.

5. Алехин В.Ю., Абдулахунов А.А., Винокурова И.М. Расчет протекторной защиты нефтегазопровода / В.Ю. Алехин, А.А. Абдулахунов, И.М. Винокурова // сб. науч. тр. Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга», Вып. 11. Воронеж. 2022. С. 130-139.

6. Милютин А.М., Наумова Ю.С., Винокурова И.М. Методы предотвращения аварий на магистральных нефтегазопроводах / Ю.С. Наумова, А.М. Милютин, И.М. Винокурова // сб. науч. тр. Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга», Вып. 11. Воронеж. 2022. С. 140-149.

7. Милютин А.М., Наумова Ю.С., Винокурова И.М. Перспективы модернизации газоперекачивающих агрегатов / А.М. Милютин, Ю.С. Наумова, И.М. Винокурова // сб. науч. тр. Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа /АО «Научно-исследовательский институт лопастных машин»; Издательско-полиграфический центр «Научная книга», Вып. 11. Воронеж. 2022. С. 209-221.

8. Горожанкина О.В., Винокурова И.М., Кадырметов А.М. К вопросу об особенностях структуры покрытия железа повышенной толщины, полученных электрогальваническим методом с механическим послойным упрочнением /

О.В. Горожанкина, И.М. Винокурова, А.М. Кадырметов // Воронежский научно-технический Вестник. 2021. Т. 1. № 1 (35). С. 18-24.

9. Vinokurova I., Khlopovskikh E., Tychinina A., Safonova L. Mathematical modeling of anodic oxidation and cathodic reduction of metals prone to passivation, taking into account the peculiarities of heat and mass transfer in the ieg under pulsed modes. Key Engineering Materials. 2022. Т. 910 КЕМ. С. 529-537.

10. Винокурова И.М. Коррозия и защита оборудования от коррозии: учеб. пособ./И.М. Винокурова. Воронеж, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». 2016. Ч. 2. 225 с.

11. Винокурова И.М., Бурдунюк Д.И. Особенности импульсного формообразования титана и его сплавов с учетом пассивности металла/ И.М. Винокурова, Д.И. Бурдунюк // В сборнике: Комплексные проблемы техносферной безопасности. Материалы Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: В.А. Небольсин, 2014. С. 192-197.

12. Винокурова И.М., Спиридонов Б.А. Исследование коррозионно-электрохимического поведения родированного титана в кислой среде/ И.М. Винокурова, Б.А. Спиридонов // В сбор.: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях. Межвуз, сбор, науч. тр. ГОУВПО «Воронежский гос. технический ун-т» Междунар. акад. наук экологии безопасности человека и природы. Воронеж, 2008. С. 162-165.

13. Винокурова И.М., Скозубенко Е.В. Особенности высокомолекулярного окисления металлов с учетом образования оксидных пленок/ И.М. Винокурова, Е.В. Скозубенко // В сборнике: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях. Межвузовский сборник научных трудов. Воронежский государственный технический университет, Международная академия наук экологии безопасности человека и природы; Ч. II . Воронеж, 2006. С. 55-60.

14. Шалимов Ю.Н., Винокурова И.М. Восстановление деталей машин в условиях импульсного электролиза / Ю.Н. Шалимов, И.М. Винокурова, Е.Н. Островская, Ю.В. Литвинов, М.А. Лесных // В сборнике: Современная электротехнология в промышленности центра России: Труды VII региональной научно-технической конференции. 2004. -Тула: ТулГУ. С. 90-95.

15. Винокурова И.М. Защита теплотехнического оборудования от коррозии: учеб. пос. ГОУВПО. Воронежский государственный технический университет. Ч. I. Воронеж. ВГТУ. 2011. 280 с.

16. Винокурова И.М. Коррозия и защита оборудования от коррозии: ФГБОУ ВО «Воронеж. госуд. технич. ун-т», Воронеж, 2016. Т. 2. 254 с.

16. Винокурова И.М., Спиридонов Б.А. Исследование коррозионно-электрохимического поведения родированного титана в кислой среде / И.М. Винокурова, Б.А. Спиридонов // В сборнике: Системы жизнеобеспечения и управления в чрезвычайных ситуациях. Межвузовский сборник научных трудов. ГОУВПО «Воронежский гос. технический ун-т» Междунар. акад. наук экологии безопасности человека и природы. Ч. 1. Воронеж, 2008. С. 162-165.

17. Дворядкина Д.Ю., Лапунина Т.В., Винокурова И.М. Присадки для топлива и октановое число / Д.Ю. Дворядкина, Т.В. Лапунина, И.М. Винокурова // В сборнике: Химия, новые материалы, химические технологии. межвузовский сборник научных трудов. Воронеж, 2016. С. 136-140.

18. Винокурова, И. М. Коррозионно-электрохимическое поведение титана, сплава ВТЗ-1 и родированного титана [Текст] / И.М. Винокурова, Б. А. Спиридонов // Вестник Воронежского государственного технического университета. Т. 4, № 5. 2008. С. 53-55.

19. Винокурова И.М. Основы физико-химических методов противокоррозионной защиты теплотехнического оборудования от коррозии / И.М. Винокурова // учеб. пос. Воронеж, 2009. Том Ч. I. 320 с.

References

1. Salomatin V.V., Likhobabin R.Yu., Vinokurova I.M. Development of effective methods of protection of the pumping unit of the NIP / V.V. Salomatin, R.Yu. Likhobabin, I.M. Vinokurova // In the collection: hydraulic machines and oil and gas transportation systems. Collection of scientific tr. Joint Stock Company «Research Institute of Blade Machines»; Voronezh State Technical University. Voronezh, 2021. P. 124-130.

2. Salomatin V.V., Likhobabin R.Yu., Vinokurova I.M. Calculation of the parameters of the application of cathodic protection from an external current source / V.V. Salomatin, R.Yu. Likhobabin, I.M. Vinokurova // Collected work: Hydraulic machines and systems of oil and gas transportation: sb. nau. tr. /JSC «Research Institute of Blade Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», - Voronezh. 2021. c.114-123.

3. Salomatin V.V., Vinokurova I.M., Kulikova O.V. Anticorrosive materials for protecting oil and gas pipelines from corrosion / V.V. Salomatin, R.Yu. Likhobabin, I.M. Vinokurova // collection of tr. XVIII International scientific and practical conference. «Civil defense and natural-technical systems». Voronezh, 2022. pp. 432-436.

4. Alekhin V.Yu., Abdulakhunov A.A., Vinokurova I.M. Calculation of the tread protection of the oil and gas pipeline / V.Yu. Alekhin, A.A. Abdulakhunov, I.M. Vinokurova // sb. nau. tr. Hydraulic machines and oil and gas transportation systems /JSC «Research Institute of Paddle Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», Issue 11. - Voronezh. 2022. pp. 150-139.

5. Alekhin V.Yu., Abdulakhunov A.A., Vinokurova I.M. Calculation of the tread protection of the oil and gas pipeline / V.Yu. Alekhin, A.A. Abdulakhunov, I.M. Vinokurova // sb. nau. tr. Hydraulic machines and oil and gas transportation systems /JSC «Research Institute of Paddle Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», Issue 11. - Voronezh. 2022. pp. 130-139.

6. Milyutin A.M., Naumova Y.S., Vinokurova I.M. Methods of preventing accidents on oil and gas pipelines / Yu.S. Naumova, A.M. Milyutin, I.M. Vinokurova // sb. nau. tr. Hydraulic machines and oil and gas transportation systems /JSC «Research Institute of Paddle Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», Issue 11. - Voronezh. 2022. pp. 140-149.

7. Milyutin A.M., Naumova Y.S., Vinokurova I.M. Prospects of modernization of gas pumping units / A.M. Milyutin, Yu.S. Naumova, I.M. Vinokurova // sb. nau. tr. Hydraulic machines and oil and gas transportation systems /JSC «Research Institute of Paddle Machines»; Publishing and Printing Center «Scientific Book», Issue 11. - Voronezh. 2022. C. 209-221.

8. Gorozhankina O.V., Vinokurova I.M., Kadyrmetov A.M. On the question of the features of the structure of the coating of iron of increased thickness obtained by electrogalvanic method with mechanical layer-by-layer hardening / O.V. Gorozhankina, I.M. Vinokurova, A.M. Kadyrmetov // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. 2021. Vol. 1. No. 1 (35). pp. 18-24
9. Vinokurova I., Khlopovskikh E., Tychinina A., Safonova L. Mathematical modeling of anodic oxidation and cathodic reduction of metals prone to passivation, taking into account the peculiarities of heat and mass transfer in the ieg under pulsed modes. *Key Engineering Materials*. 2022. Vol. 910 KEM. pp. 529-537.
10. Vinokurova I.M. Corrosion and protection of equipment from corrosion: textbook. manual/I.M. Vinokurova. Voronezh, Voronezh State Technical University. 2016. Part 2. 225 p.
11. Vinokurova I.M., Burdunyk D.I. Features of pulse shaping of titanium and its alloys taking into account the passivity of the metal/ I.M. Vinokurova, D.I. Burdunyk //In the collection: Complex problems of technosphere security. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Responsible editor: V.A. Nebolsin, 2014. pp. 192-197.
12. Vinokurova I.M., Spiridonov B.A. Investigation of the corrosion-electrochemical behavior of rhodated titanium in an acidic environment/ I.M. Vinokurova, B.A. Spiridonov //In collection: Life support and management systems in emergency situations. mezhvuz, collection, scientific tr. GOVPO «Voronezh State Technical University» International. Academy of Sciences of Ecology, Human safety and Nature. Voronezh, 2008. pp. 162-165.
13. Vinokurova I.M., Skozubenko E.V. Features of high-molecular oxidation of metals taking into account the formation of oxide films/ I.M. Vinokurova, E.V. Skozubenko //In the collection: Life support and management systems in emergency situations. intercollegiate collection of scientific papers. Voronezh State Technical University, International Academy of Sciences of Ecology, Human Safety and Nature; Part II. Voronezh, 2006. pp. 55-60
14. Shalimov Yu.N., Vinokurova I.M. Restoration of machine parts in conditions of pulsed electrolysis / Yu.N. Shalimov, I.M. Vinokurova, E.N. Ostrovskaya, Yu.V.

Litvinov, M.A. Lesnykh // In the collection: Modern electrical technology in the industry of the center of Russia: Proceedings of the VII Regional Scientific and Technical Conference. 2004. -Tula: TulSU. pp. 90-95.

15. Vinokurova I.M. Protection of heat engineering equipment from corrosion: study. village GOUVPO. Voronezh State Technical University. Ch.I. Voronezh. VSTU. 2011. 280 P. 16. Vinokurova I.M. Corrosion and protection of equipment from corrosion: Voronezh. the state. technical. un-t", Voronezh, 2016. Vol. 2. 254 p.

16. Vinokurova I.M., Spiridonov B.A. Investigation of the corrosion-electrochemical behavior of rhodated titanium in an acidic environment / I.M. Vinokurova, B.A. Spiridonov // In the collection: Life support and management systems in emergency situations. intercollegiate collection of scientific papers. GOUVPO «Voronezh State Technical University» International. Academy of Sciences of Ecology, Human Safety and Nature. Part 1. Voronezh, 2008. pp. 162-165.

17. Dvoryadkina D.Yu., Lapunina T.V., Vinokurova I.M. Fuel additives and octane number / D.Yu. Dvoryadkina, T.V. Lapunina, I.M. Vinokurova // In the collection: Chemistry, new materials, chemical technologies. intercollegiate collection of scientific papers. Voronezh, 2016. pp. 136-140.

18. Vinokurova, I. M. Corrosion-electrochemical behavior of titanium, VT3-1 alloy and rhodated titanium [Text] / I.M. Vinokurova, B. A. Spiridonov// Bulletin of the Voronezh State Technical University. Vol. 4, No. 5. 2008. pp. 53-55.

19. Vinokurova I.M. Fundamentals of physico-chemical methods of anticorrosive protection of thermal equipment from corrosion / I.M. Vinokurova // ucheb. pos. Voronezh, 2009. Volume C. I. 320 c

Яковлева Дарья Михайловна – студентка 2-го курса, группа БНГД-212, факультет Машиностроения и аэрокосмической техники Воронежского государственного технического университета.

Винокурова Ирина Михайловна – канд. техн. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Букша Сергей Николаевич – канд. техн. наук, преподаватель Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

ПЕРСОНАЛИИ

Юбилей Небольсина Валерия Александровича



Небольсину Валерию Александровичу – доктору технических наук, декану Факультета радиотехники и электроники ВГТУ, профессору кафедры химии и технологии материалов, заведующему кафедрой твердотельной электроники, заместителю главного редактора журнала «Химия, физика и механика материалов» 5 июля 2023 г. исполнилось 60 лет.

Небольсин В.А. – прекрасный организатор целого ряда научных проектов, учебного процесса, которого высоко ценит ректорат вуза и его ближайшие сотрудники. Великолепный преподаватель по словам студентов и коллег. Основным научным направлением его деятельности являются полупроводники, изучение структуры и свойств нитевидных нанокристаллов кремния, механизм их образования, прикладные вопросы получения и применения нанокристаллов. В его портфолио 160 публикаций, 19 патентов.

Научная редакция журнала «ХФММ», ректорат, коллеги и друзья искренне поздравляют Валерия Александровича с Юбилеем, желают ему здоровья и реализации его творческих планов.

Проскурин Д.К., Колосов А.И., Рудаков О.Б., Кукина О.Б.

Научное издание

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

Выпуск № 3 (38), 2023

Научный журнал

В авторской редакции

*Дата выхода в свет: 30.10.2023.
Формат 60×84 1/8. Бумага писчая.
Усл. печ. л. 15,1. Уч.-изд. л. 11,5.
Тираж 35 экз. Заказ №
Цена свободная*

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84