

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

Рецензент, _____
_____/_____/_____
«_____» _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой БЖД
_____/А.И. Сидоров/
«_____» _____ 2018 г.

Экспериментальные исследования теплофизических свойств
теплоизоляционного материала пенополистирола, обработанного
водным раствором жидкого стекла и жаропрочного клея с добавлением
негорючих добавок

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)
ЮУрГУ – 20.04.01.2018.582 ВКР МД

Руководитель работы, доцент
_____/ Палатинская И.П. /
«_____» _____ 2018 г.

Автор работы
студент группы П-267
_____/ Редькина Н.Е. /
«_____» _____ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент
_____/ Полунин Г.А. /
«_____» _____ 2018 г.

РЕФЕРАТ

Редькина Н.Е.
Экспериментальные исследования
теплофизических свойств
теплоизоляционного материала
пенополистирола, обработанного
водным раствором жидкого стекла и
жаропрочного клея с добавлением
негорючих добавок. – Челябинск:
ЮУрГУ, П-267, 2017. – 61 с., 21 ил.,
21 табл., библиогр. список – 50 наим.

В ходе работы были предложены составы на основе водного раствора жидкого стекла и жаростойкого клея с различными негорючими добавками. В результате экспериментальных исследований было установлено, что с помощью нанесения покрытий можно улучшить пожарно-технические показатели пенополистирола.

При обработке плит из пенополистирола огнезащитными составами снижается пожароопасность материала, но возможно изменяются его теплофизические свойства.

В работе исследуется изменение теплофизических свойств ППС после обработки огнезащитными составами на основе водного раствора жидкого стекла и жаропрочного клея с негорючими добавками. Исследуется тепловое сопротивление и водопоглощение у обработанных образцов пенополистирола.

SYNOPSIS

Redkina N.E. Experimental studies of the thermophysical properties of the heat-insulating material of expanded polystyrene treated with an aqueous solution of liquid glass and a heat-resistant adhesive with the addition of non-combustible additives. – Chelyabinsk: SUSU, P – 267, 2018. – 61 p, 21 il, 21 tabl., Bibliography – 50.

In the course of the work, compositions were proposed based on an aqueous solution of liquid glass and a heat-resistant adhesive with various non-flammable additives. As a result of experimental studies it was found that by applying coatings it is possible to improve the fire and technical parameters of expanded polystyrene.

When processing plates from expanded polystyrene with flame retardants, the fire hazard of the material decreases, but its thermal and physical properties properties.

The paper investigates the change in the thermophysical properties of the expanded polystyrene after treatment with flame retardants based on an aqueous solution of liquid glass and a heat-resistant adhesive with non-flammable additives. Thermal resistance and water absorption for processed samples of expanded polystyrene are investigated.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.....	10
1.1 Открытие пенополистирола	10
1.2 Достоинства использования ППС в строительстве	10
1.2.1 Теплофизические свойства ППС	12
1.3 Недостатки использования ППС в строительстве	16
1.4 Анализ нормативной документация.....	17
1.5 Анализ предыдущих исследований.....	21
1.5.1 Патентный поиск.....	21
1.5.2 Экспериментальные авторские исследования	22
2 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	27
2.1 Выбор базового вещества и способа обработки	27
2.2.1 Шпаклевка финишная белая полимерная «Vetonit».....	28
2.2.2 Пескобетон М200	28
2.2.3 Смесь кладочная глино-шамотная жаростойкая «Терракот».....	29
2.2.4 Смесь штукатурная высокопрочная жаростойкая «Терракот»	29
2.2.5 Огнеупорная кладочная смесь «Терракот»	29
2.2.6 Побелка садовая «Гарантсервис»	30
2.2.7 Финишная шпатлевка латексная «Лакра»	30
2.2.8 Глина для лепки.....	30
2.2.9 Глина каолиновая	31
2.3 Оценка выгорания обработанных образцов ППС.....	31
2.4 Адгезия	36
2.4.1 Методы проверки адгезии	37
2.4.2 Оценка адгезионных свойств покрытий методом Х-образного надреза	39

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ, ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА, ОБРАБОТАННОГО ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	44
3.1 Исследование теплопроводности пенополистирола, обработанного огнезащитными составами	44
3.1.1 Обработка составами образцов ППС	44
3.1.2 Измерение теплопроводности обработанных образцов.....	45
3.1.3 Проведение испытания	46
3.2 Определение теплового сопротивления	48
3.3 Исследование водопоглощения пенополистирола, обработанного огнезащитными составами	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	58

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: На сегодняшний день одним из широко применяемых материалов является пенополистирол, который распространен в самых разных сферах нашей жизнедеятельности благодаря своим характеристикам, сочетающих прочностные и теплоизоляционные свойства, легкость в обработке и переработке, низкую стоимость, отсутствие угрозы пыления. Но основным недостатком является его пожароопасность – при горении пенополистирол быстро воспламеняется и распространяет огонь, увеличивая вероятность усиления пожара.

В соответствии с Конституцией РФ, ТК РФ и Федеральным законом от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 28.11.2015) – обеспечение пожарной безопасности является одной из важнейших функций государства [1–3].

Именно поэтому для такого материала необходимо применять эффективные огнезащитные покрытия, чтобы максимально увеличить время до возгорания пенополистирола при начале горения. При рассмотрении эффективности покрытий важным остается сохранение или улучшение теплофизических свойств пенополистирола.

В данной работе рассмотрена актуальность проведения экспериментальных исследований теплофизических свойств теплоизоляционного материала пенополистирола после обработки огнезащитными покрытиями.

Цель работы: исследование изменения теплофизических свойств теплоизоляционного материала – пенополистирола после обработки его огнезащитными составами.

Реализация цели требует постановки и решения следующих основных задач исследования:

1. Подбор и анализ литературных источников:
 - нормативная документация;
 - патентный поиск;

- современные исследования.
- 2. Подбор покрытий огнезащитных составов на основе водного раствора жидкого стекла и жаропрочного клея с различными добавками для образцов пенополистирола разных марок:
 - обработка образцов составами;
 - экспериментальное определение показателей пожароопасности у обработанных образцов: горючести, воспламеняемости, дымообразования;
 - экспериментальные исследования теплопроводности, теплоемкости и теплостойкости у образцов ППС с нанесенными покрытиями;
 - экспериментальное исследование водопоглощения и теплового сопротивления у обработанных образцов.

3. Анализ полученных результатов.

Объектом исследования: теплоизоляционный материал пенополистирол (ППС).

Предмет исследования: теплофизические свойства пенополистирола, его водопоглощение и тепловое сопротивление после обработки огнезащитными составами на основе водного раствора жидкого стекла и жаростойкого клея с негорючими добавками.

Научная новизна: состоит в доказательстве того, что пенополистирол является пожароопасным материалом – при горении можно выделить три фазы: твердая, жидкая и газообразная, что отличает этот материал от других твердых теплоизоляционных материалов, поэтому пенополистиролу необходима огнезащита; предложены огнезащитные составы, снижающие пожароопасность пенополистирола; проведено исследования изменение теплоизоляционных свойств ППС, его водопоглощение и тепловое сопротивление после покрытия составами; предложена методика оценки пожароопасности и теплофизических свойств ППС, обработанного огнезащитными составами на основе водного раствора жидкого стекла и жаропрочного клея с негорючими добавками.

Апробация результатов исследования: результаты работы представлены на:

Международная научно-практическая конференция «Наука сегодня: проблемы и пути решения», г. Вологда (2016г);

XXI Всероссийская студенческая научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы безопасности современного мира», г. Иркутск (апрель 2016г);

III этап Всероссийской студенческой олимпиады по безопасности жизнедеятельности, г. Москва (апрель 2016 г.). По итогам олимпиады работа завоевала Диплом I степени;

LVI Международной научно-практической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству», ЧГАА, г. Челябинск (февраль 2017 г.);

XXII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция с международным участием «Проблемы экологической и промышленной безопасности современного мира», г.Иркутск (апрель 2017г.). По итогам конференции работа завоевала Диплом I степени;

IV Всероссийская студенческая конференция (с международным участием) «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи», г.Челябинск, (апрель 2017г);

Всероссийская научная конференция-конкурс студентов выпускного курса, г.Санкт-Петербург (март 2018г.).

Публикации: по материалам диссертации опубликованы 9 статей.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка.

Объем работы: содержит 61 страницу машинописного текста, 21 таблицу, 21 рисунок. Библиографический список включает 50 источников.

1 АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

В современных условиях строительства применяют широкий спектр теплоизоляционных материалов. Пенополистирол занимает одно из лидирующих позиций по применению для теплоизоляции строительных конструкций в мире.

Пенополистирол – это газонаполненный полимерный материал, получаемый путем вспенивания полистирола и его сополимеров. Материал имеет закрытопористую структуру и на 98% состоит из газа, что обуславливает его высокие звуко- и теплоизоляционные свойства [35].

1.1 Открытие пенополистирола

Пенополистирол (ППС), хорошо известный в настоящее время, был изобретен в Германии в 1950 г. компанией BASF и получил сокращенное название EPS (expanded polystyrene foam). С тех пор началось широкое применение пенополистирола в качестве теплоизоляционного и упаковочного материала. Наиболее востребован пенополистирол был и остается в строительной сфере благодаря своим уникальным характеристикам [23].

В СССР сырье для производства пенополистирола – вспенивающийся полистирол был впервые произведен на Украине в 1965 г. Затем такие производства были построены и в других регионах. По мере увеличения объемов выпуска этого теплоизоляционного материала и расширения его применения в промышленности был принят стандарт ГОСТ 15588–86 «Плиты пенополистирольные» [4].

1.2 Достоинства использования ППС в строительстве

Высокий темп индустриализации жилищного и промышленного строительства потребовал быстрого развития и технологического совершенствования производства эффективных теплоизоляционных материалов на основе высокомолекулярных соединений. К этой группе материалов относится

пенополистирол, применение которого дает возможность, не только сократить вес строительных конструкций, улучшить эксплуатационные свойства, но и сэкономить в экономическом плане.

Производство многослойных ограждающих конструкций стен, утепление кровли, фундамента, полов, производство сэндвич-панелей — далеко не полный список использования пенополистирола в строительной сфере (рисунок 1).

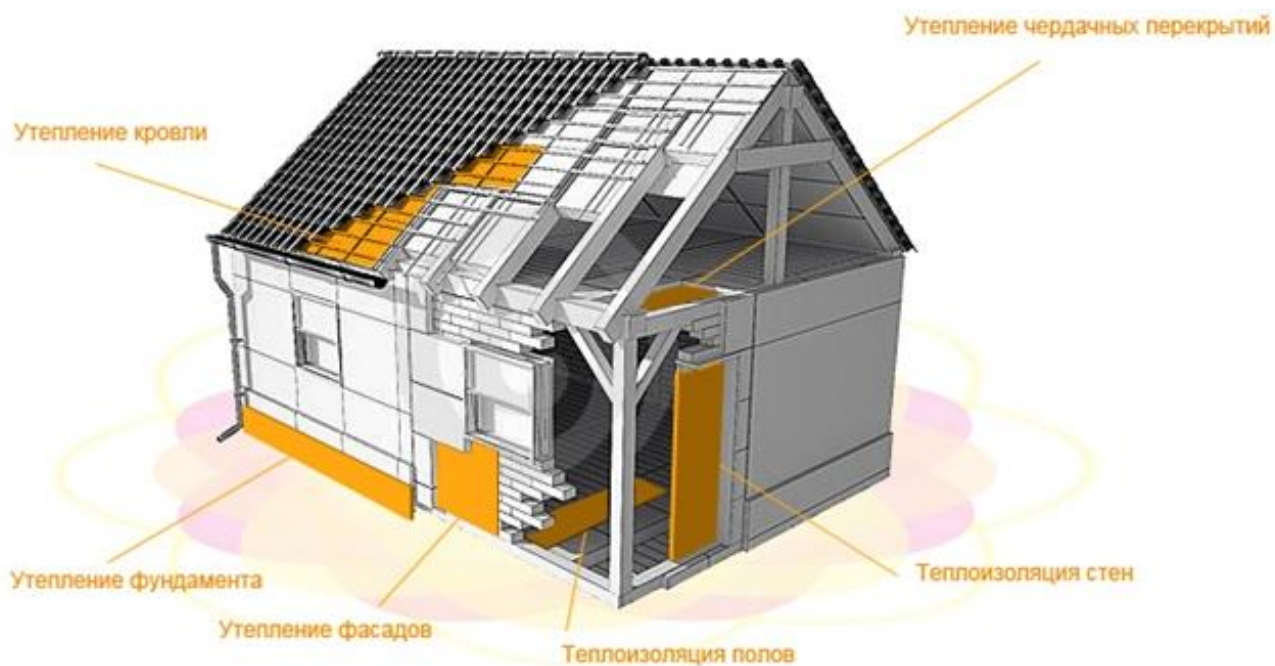


Рисунок 1 – Применение пенополистирола в строительстве [47]

Пенополистирол представляет собой особый вид материала, отличающийся явно выраженной физической неоднородностью, своеобразием микроструктуры, напоминающей структуру застывшей пены. Он состоит из более или менее правильно чередующихся слоев полимерной основы, образующей стенки ячеек, заполненных газом. Физическая неоднородность, чередование твердой и газообразной фаз обуславливают специфические свойства материала [34].

ППС прочный, легкий материал, обладает амортизирующими свойствами, поглощает вибрацию, эффективен для шумоизоляции, долговечен и прост в обработке.

Главным преимуществом является низкая теплопроводность, которая относится к теплофизическим свойствам (рисунок 2).

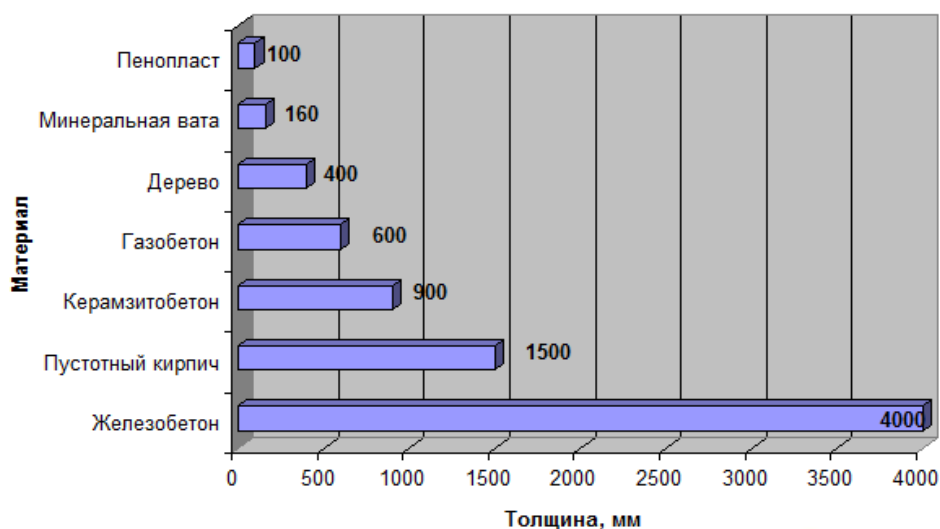


Рисунок 2 – Эффективная толщина теплоизоляции материалов, применяемых в строительстве [27]

1.2.1 Теплофизические свойства ППС

Под теплофизическими свойствами понимают индивидуальные свойства полимеров по различным критериям, которые позволяют выделить особенности в переработке того или иного вида полимерного сырья. К ним относят 3 основных параметра:

- теплостойкость;
- теплопроводность;
- теплоемкость.

Одним из основных свойств ППС является его **теплостойкость**. Критерием теплостойкости служит формоустойчивость, характеризующая поведение материала при повышенных температурах. Условно за характеристику теплостойкости ППС принимают температуру, при которой линейная усадка материала не превышает 1% [36].

Теплостойкость пенополистирола может быть определена по методике, предусматривающей кратковременные температурные воздействия на материал в интервале 60 – 200°C и длительные воздействия в интервале температур 70 – 90°C.

Критерием теплостойкости в этом случае служит объемная усадка ППС, определяемая по формуле [36]:

$$D = \frac{v_0 - v}{v_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где v_0 – первоначальный объем пенополистирола, см³,

v – объем пенополистирола после тепловой обработки, см³

Изменение линейных размеров образцов ППС при температуре 0 – 50°C характеризуются коэффициентом термического линейного расширения α . Снижение формоустойчивости ППС при повышенных температурах, затрудняет определение α . Поэтому для ППС значения коэффициента термического линейного расширения α носят приближенный характер.

Коэффициент термического линейного расширения рассчитывают по формуле [36]:

$$\alpha = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta T}, \quad (2)$$

где l – начальная длина образца, мм,

Δl – деформация образца (мм) при температуре, равной ΔT .

Теплоемкость – свойство материала поглощать определенное количество тепла при нагревании и выделять его при охлаждении. Теплоемкость характеризуется коэффициентом теплоемкости (c), который равен количеству тепла, необходимого для нагревания 1 кг материала на 1 °C:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}, \quad (3)$$

где Q – количество теплоты, Дж;

m – масса, кг;

T – температура, °С.

Таблица 1 – Теплофизические характеристики пенополистирола [49]

Тип ППС	Кажущаяся плотность ρ , кг/м ³	Коэф. теплопроводности λ при 20°С, Вт/(м·град)	Коэф. линейного термического расширения $\alpha \times 10^6$, °С ⁻¹	Удельная теплоемкость c при 20°С, 10 ³ ·Дж/(кг·°С)	Тип ППС
ПС-1	60 ... 220	0,032 ... 0,052	52 ... 71	–	ПС-1
ПС-4	30 ... 60	0,029 ... 0,044	62 ... 84	–	ПС-4
ПСБ	20 ... 60	0,028 ... 0,038	56 ... 68	1,47 ... 1,63	ПСБ
ППС	20 ... 60	0,028 ... 0,038	55 ... 65	–	ППС

Теплостойкость и удельная теплоёмкость пенопластов не зависят от кажущейся плотности [49].

Теплопроводность – физическая величина, описывающая способность проникновения температуры с одной поверхности на другую.

Ячеистая структура определяющим образом влияет на теплопроводность пенопластов. В связи с наличием ячеистой структуры передача тепла в пенопласте обуславливается теплопроводностью полимерных плёнок, конвекцией газообразной фазы и излучением между стенками ячеек, т.е. теплопроводность пенопластов характеризуется эффективным коэффициентом теплопроводности. Основной вклад в коэффициент теплопроводности (λ) вносит газовая фаза [49].

Определение коэффициента теплопроводности пенопластов может быть сделано теоретически в предположении аддитивности различных механизмов переноса тепла [28]:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4, \quad (4)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ – вклад теплопроводности полимера – основы; газа, заполняющего ячейки; конвективной составляющей и излучения соответственно.

Значения составляющих можно вычислить с помощью моделей пористых систем [28].

Теплопроводность пенополистирола снижается с уменьшением кажущейся плотности (см. рисунок 3, а). Однако существует оптимальное значение плотности ($\rho = 20 \dots 40 \text{ кг/м}^3$), выше и ниже которого коэффициент теплопроводности увеличивается.

Увеличение влажности пенополистирола приводит к возрастанию теплопроводности (см. рисунок 3, б). Увлажнение на 1% повышает коэффициент теплопроводности на 4%. При увлажнении до 4% пенопласта ПСБ коэффициент теплопроводности резко возрастает, а затем изменяется незначительно.

Коэффициент теплопроводности возрастает с повышением температуры (см. рисунок 3, в). У ППС до 30 °С он практически не изменяется, при 30 ... 40 °С плавно увеличивается на 8%, а после 40 °С резко возрастает. Уплотнённая корка, имеющаяся на поверхности плиты пенопласта, увеличивает стабильность коэффициента λ [36].

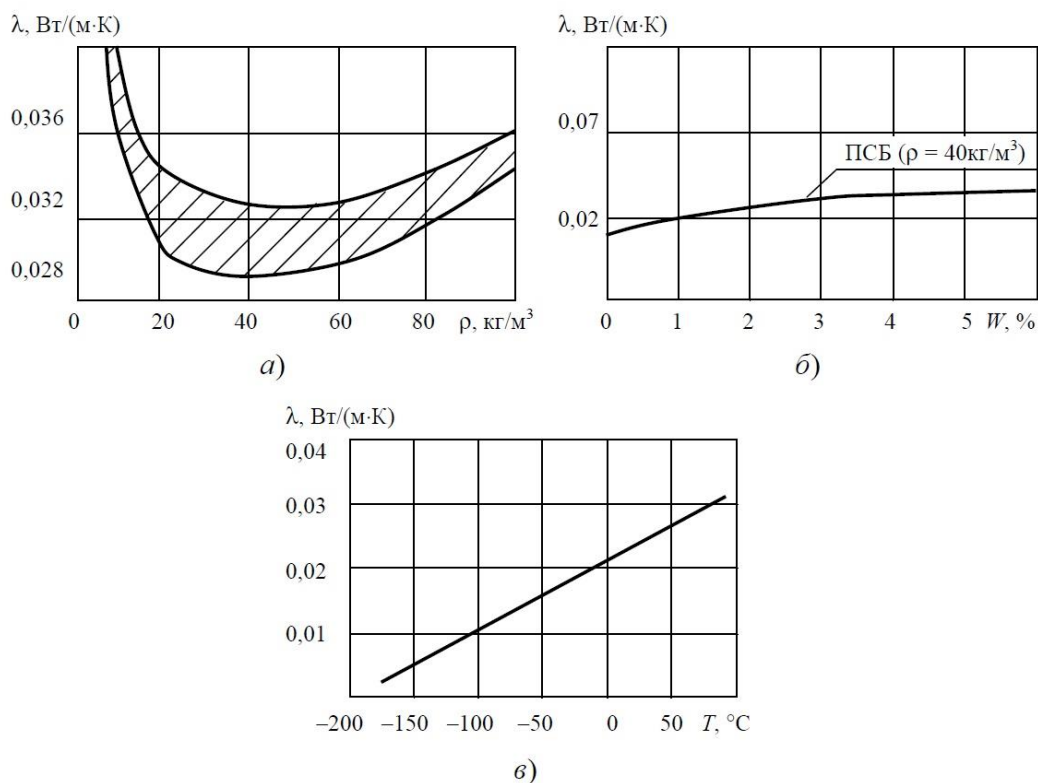


Рисунок 3 – Зависимости коэффициента теплопроводности ППС от кажущейся плотности (а); влажности (б) и температуры (в) [49]

1.3 Недостатки использования ППС в строительстве

Однако, несмотря на положительные качества пенополистирольных плит с точки зрения пожарной безопасности они очень опасны. Полимерные утеплители из пенополистирольных плит имеют низкую температуру воспламенения и высокую скорость распространения пламени при их использовании в ограждающих конструкциях. При пожаре полимерные материалы из пенополистирольных плит плавятся, растекаются через образующиеся неплотности конструкций, что приводит к возникновению новых очагов пожаров [48].

По оценкам исследований [24,28,31,34] строительный материал ППС относится к сильногорючим материалам (Г4) с высокой степенью воспламеняемости (В3) и высокой дымообразующей способностью (Д3). Однако рекламные предложения различных производителей, выпускающих ППС,

отличаются от нормативных требований, которые с 2016 года существенно изменились.

1.4 Анализ нормативной документация

Анализ нормативной документации по современным требованиям к пожарно-техническим показателям для строительных плит из пенополистирола и сопоставление их с данными экспертных исследований позволит выявить возможные пути решений снижения пожароопасных свойств этого материала.

Оценка требований к пожарно-техническим показателям ППС-Б проводилась при сопоставлении данных требований в сравнении:

- с нормами на плиты, действующими до июля 2015 и после, [4,5];
- с нормами к твердым горючим строительным материалам и ГОСТом 12.1.044-89*, таблица 4 [6–9];
- с сертификатами пожарной безопасности производителей плит и с данными российских исследований, таблица 5 [17–19, 28,31,34].

Сопоставление ГОСТов [4,5] выявили существенные различия в следующих требованиях, таблица 2.

Ранее диапазон градации по плотности был 10 кг на метр³, и поэтому в одной марке были изделия с совершенно разными прочностными и теплотехническими показателями [17], таблица 3. Кроме того, в соответствии с предыдущим ГОСТом выпускались плиты пенополистирола 4-х марок, обозначение которых формировалось из максимальной плотности в данной группе (см. таблица 3). Однако большая часть производителей выпускала плиты с минимальной плотностью, что приводило к недопониманию у потребителей [24].

По обновлённому ГОСТ 15588-2014 «Плиты пенополистирольные теплоизоляционные» значительно расширен перечень марок, которые имеют своё функциональное назначение. Числовые значения этих марок характеризуют плотность кг/м³, минимальное — у ППС 10, а максимум — у ППС 45. Классификация марок по плотности дополняется их разделением на типы по технологии изготовления. О предпочтительном использовании продукта можно

судить по некоторым физико-механическим параметрам, заданным в стандарте. Это прочность на сжатие, её пределы на изгибе и при растяжении; кроме того, указаны теплопроводность при различных температурах и водопоглощение [34].

Таблица 2 – Отличия в области применения ППС

Наименование	ГОСТ 15588-86 [4]	ГОСТ 15588-2014 (с 01.07.2015 г.) [5]
1. Область применения	Предназначаются для тепловой изоляции в качестве <u>среднего</u> слоя строительных ограждающих конструкций и промышленного оборудования	Предназначены: – для тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций, – тепловой защиты отдельных элементов строительных конструкций и промышленного оборудования при отсутствии контакта плит с внутренними помещениями, – в холодильных камерах – могут применяться для теплоизоляции в фасадных теплоизоляционных композиционных системах с наружными штукатурными слоями»
2. Требования безопасности	П.4.13. Определение времени самостоятельного горения	– «п.6.5. ... Пожарно-технические показатели проверяют в соответствии с действующими требованиями пожарной безопасности Г, В, Т, Д»; – «п.7.10 Определение времени самостоятельного горения».
3. Классификация и маркировка плит из ППС	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.Плиты в зависимости от наличия антипирена изготавливают двух типов: ПСБ-С - с антипиреном, ПСБ - без антипирена. Классификация плит основывалась на диапазоне плотности продукции (см. таблица 2) 	<ul style="list-style-type: none"> Обязательное наличие в составе строительных теплоизоляционных плит антипиреновых добавок. 20 марок с жесткой фиксацией плотности (см. таблица 3)

В новом ГОСТе [5] в каждой марке плит должно быть обязательное наличие антипиреновых добавок и должна быть одна плотность, таблица 4.

Таблица 3 – Маркировка плит ППС по ГОСТ 15588-86 [4]

Наименование	Норма для плит марок	
	высшей категории качества	первой категории качества

показателя	15	25	35	50	15	25	35	50
Плотность, кг/м ³	До 15	15,1... 25,0	25,1... 35,0	35,1...50,0	До 15	15,1...25,0	25,1...35,0	35,1...50,0

Таблица 4 – Маркировка плит ППС в зависимости от плотности по ГОСТ 15588-2014 [5]

Наименование показателя	Значение показателя для плит марки										
	ППС1 0	ППС1 2	ППС1 3	ППС1 4	ППС16 Ф	ППС1 7	ППС2 0	ППС2 3	ППС2 5	ППС3 0	ППС3 5
Плотность, кг/м ³ , не менее	10	12	13	14	16	17	20	23	25	30	35

Пенополистирол является легковоспламеняющимся горючим материалом с температурой воспламенения 310°С, температурой самовоспламенения 440°С. Он загорается от пламени спички (750...850 °С). Горит в расплавленном состоянии с обильным выделением дыма, а продукты его горения токсичны [31,34]. Анализ норм по определению и методикам проверки пожарно-технических показателей (ПТП) для твердых горючих строительных материалов в соответствии с нормативными требованиями пожарной безопасности выявил одинаковость оценочных требований по следующим группам: Г (группа горючести), В (группа воспламеняемости), Т (группа по токсичности продуктов горения), Д (группа дымообразующей способности). Но по показателю «стойкость к горению» выявил следующие отличия:

- по наименованию показателя, таблица 5, а именно – время самостоятельного горения, а не группа распространения пламени;
- по времени нахождения испытуемого образца в пламени, таблица 5;
- по месту испытания – в пламени горелки, находящейся в помещении, а не в специальной испытательной камере.

Таблица 5 – Определение пожарно-технических показателей для ППС

Пожарно-технические показатели по ГОСТ 12.1.044-89* [6]	Нормативный документ	
	Плиты ППС	Твердые горючие строительные материалы
Стойкость к горению – оценка способности материала воспламеняться, выделять тепло и распространять пламя по поверхности при воздействии внешнего теплового потока	по ГОСТ 15588-2014 [5]	ГОСТ 30444-97 [9]
	Время самостоятельного горения	Группа распространения Пламени
	после 4 с нахождения образца в пламени горелки	после 10 мин нахождения образца в специальной камере в пламени горелки

По-видимому такие нормативные требования вызваны особенностью строения пенополистирола, отличающегося от обычных твердых материалов, т. к. основной объем в нем занимает газ (соотношение С : Н \approx 1 : 1). Кроме того в нормативах нет требований по классам в группах ПТП.

Анализ установленных классов в группах ПТП проводился по сертификатам пожарной безопасности предприятий, выпускающих плиты из ППС [17–19], а также по оценкам российских экспертных исследований [28,31], таблица 6. Сопоставление данных выявило завышенность оценок у производителей.

Таблица 6 – Оценки пожарно-технических показателей плит ППС

ППС беспрессовый	Пожарно-технический показатель			
	Г (горючие)	В (воспламеняемые)	Т (токсически опасные)	Д (дымообразующая способность)
Данные производителей [31,24,28]	Г2–умеренно Г3нормально Г4–сильно	В2–умеренно В3–легко	Т2 – умеренно; Т3 – высокоопасные	Д3 –высокая
Данные исследователей [17,18,19,44]	только Г4–сильно	только В3–легко	Т3 – высокоопасные Т4 – чрезвычайно	Д3 –высокая

Сравнение нормативных документов [4...9] выявило, что, несмотря на существенное усиление требований безопасности с 2016 года к горючему

строительному материалу пенополистиролу, остаются неоднозначности требований по оценке его пожарно-технических показателей. Это отражается и в анализе сертификатов пожарной безопасности производителей на плиты из ППС и экспертных исследований, которые выявили различия по оценкам классов горючести, токсичности и воспламеняемости плит из пенополистирола. Следовательно, учитывая высокий спрос на этот материал при строительстве зданий эконом-класса [24], остаются актуальными задачи по разработке дополнительных защитных мер при его применении, а также по разработке возможных способов снижения пожароопасных свойств этого материала.

1.5 Анализ предыдущих исследований

1.5.1 Патентный поиск

В патентном отделе ЮУрГУ был проведен патентный поиск по огнезащитным покрытиям, используемых для снижения горючести пенополистирола. Глубина поиска составила 39 лет с 1978 по 2017 года.

Поиск показал, что в настоящее время важные реактивные огнезащитные средства и собственно огнезащитные средства, но также огнезащитные добавки, критикуют за их токсические свойства, т.е. образование токсических газов в процессе разложения, так что они подлежат строгой проверке безопасности, вследствие чего увеличивается значение неорганических огнезащитных средств.

Можно выделить следующие группы огнезащитных средств (рисунок 4):

50% - неорганические огнезащитные средства;

25% - галогенированные огнезащитные средства;

20% - фосфорорганические соединения;

5% - огнезащитные средства на основе азота.

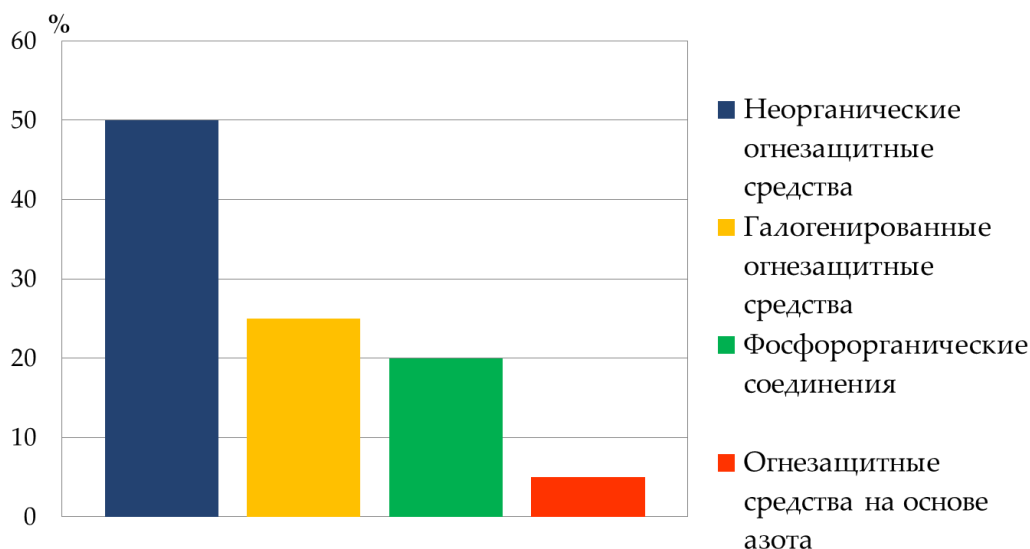


Рисунок 4 – Патентный поиск по огнезащитным средствам

1.5.2 Экспериментальные авторские исследования

Целью моей дипломной работы являлись экспериментальные исследования огнезащитных составов, применяемых для повышения огнестойкости пенополистирола, путём поверхностного нанесения и глубокой пропитки в вертикальном автоклаве [24]. Поверхностная обработка приводит к образованию на поверхности объекта защитного слоя, препятствующего возникновению (распространению) пламени. Как правило, этот способ дешевле, проще в производстве, не требует сложного оборудования и много времени на производство работ. Глубокая обработка считается наиболее надежным способом огнезащиты, но и более дорогостоящим. Только при этом способе возможно глубокое проникновение антипирена в материал.

Проведенный патентный поиск выявил наибольшее предложение по неорганическим огнезащитным средствам. Поэтому в качестве огнезащитного состава мной был выбран водный раствор на основе жидкого стекла с различными минеральными добавками.

Эксперимент проводился в три стадии: обработка составами образцов, оценка выгорания образцов, оценка опасности дымообразования.

Для проведения испытаний было взято 8 образцов пенополистирола ПСС20. Образцы были обработаны четырьмя растворами, на основе жидкого стекла [24].

После сушки в течение 24 часов при комнатной температуре образцы были подвергнуты горению в открытом пламени спиртовки (рисунок 5).

Для количественной оценки степени выгорания был применен показатель – степень выгорания σ , % [24].



Рисунок 5 – Выгорание образцов

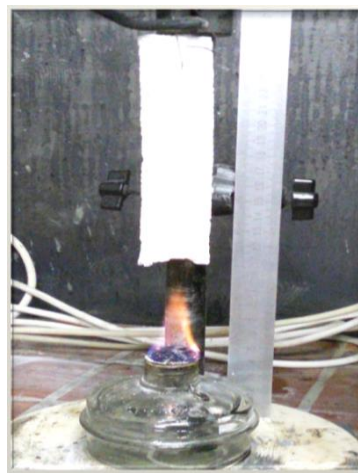
Таблица 7 – Степень выгорания образцов пенополистирола ПСБ–С–25 (ППС20)

Образцы		Степень выгорания образца, %				Исходный образец
		Номер пропитывающего раствора, №				
		0	1	2	3	
Способ обработки	Поверхностная	20	50	75	20	75
	Объемная	25	50	10	50	

В процессе горения образцов было выявлено, что при действии пламени газовой горелки образцы ППС без обработки легко воспламеняются и активно плавятся. Плава в свою очередь горит [24]. Применение обработки жидким стеклом снижает воспламеняемость и плавкость образцов, рисунок 6. Распределение степени плава представлено в таблице 8.



исходный образец



обработанный образец

Рисунок 6 – Плав образцов

Таблица 8 – Распределение степени плава у образцов

Образцы		Номер пропитывающего раствора, №				Исходный образец
		0	1	2	3	
Способ обработки	Поверхностная	± (слабый)	++ (выше среднего)	+++ (сильный)	± (слабый)	+++ (сильный)
	Объемная	+ (средний)	++ (выше среднего)	± (слабый)	++ (выше среднего)	

Оценка опасности дымообразования была проведена с целью комплексной оценки опасности предложенного состава и его композиций [49].

Экспериментальные исследования выявили, что горение пенополистирола происходит в трех агрегатных состояниях – твердое вещество, жидкость (плавящиеся горящие капли) и газ (продукты сгорания). Поэтому был проведен контроль продуктов сгорания в отходящих газах по фенолу, формальдегиду и саже [44]. Выбор данных веществ определялся особенностью процесса горения пенополистирола: деструкцию твердой фазы характеризует фенол, окисление жидкой и газообразной фазы – формальдегид, а сажа характеризует полноту сгорания материала [28,31]. Отбор проб проводился по методикам М 02-01-2005 [20] и М 02-02-2005 [21]. Для этого, сосуды с поглотительными растворами были

отсоединены и измерены массовые концентрации фенола и формальдегида согласно методикам [20,21].

После проведения опыта, фильтры с образовавшейся сажей в результате горения образцов, были вынуты из держателя и проанализированы, сравнены со шкалой «градации серого цвета» (рисунок 7,8) [44].



Рисунок 7 – Градация серого цвета

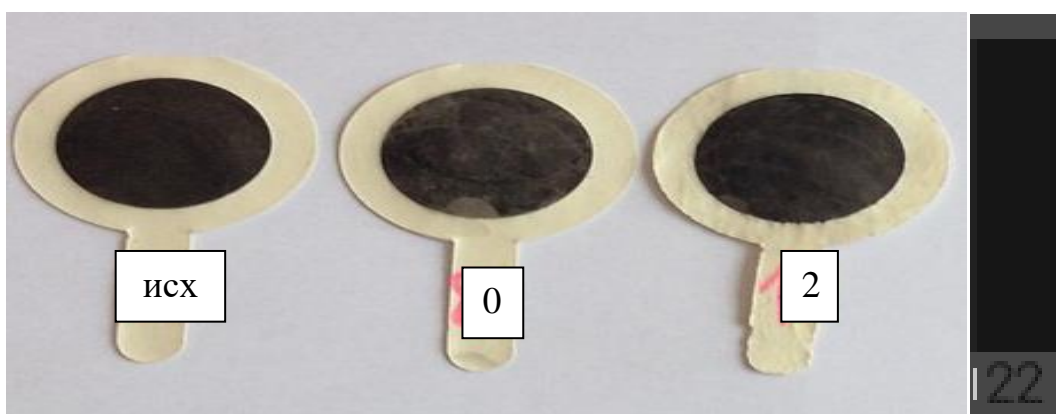


Рисунок 8 – Отработанные фильтры

Для оценки эффективности огнезащитных покрытий была предложена комплексная оценка, учитывающая [24]:

1. степень выгорания;
2. наличие плава;
3. опасность дымообразования.

Полученные результаты по экспериментам представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Полученные результаты

Состав раствора	№ образца	Оценка выгорания образца		Оценка опасности дымообразования		
				Концентрация в выбрасываемом воздухе, мг/м ³		Цвет фильтра
		σ, %	Наличие плава	Фенол	Формальдегид	
		1	2	3	4	5
Исходный образец		75	+++	0,14	0,17	23
ЖС+Н ₂ О + полисорб (автоклав)	2	10	±	1,01	0,55	22
ЖС+Н ₂ О (поверхностный)	0	20	±	0,58	0,40	22

Выводы по главе 1:

Пенополистирол – полимерный теплоизоляционный материал. Сочетание прочностных и теплоизоляционных свойств, легкость в обработке и переработке, низкой стоимости и другим ППС широко применяется в строительстве. Недостатком ППС является высокая пожароопасность.

При обработке плит из пенополистирола огнезащитными составами снижается пожароопасность пенополистирола, но возможно изменяются его теплофизические свойства.

В дипломной работе экспериментально установлено, что с помощью нанесения покрытий возможно улучшить пожарно-технические показатели пенополистирола [24]. Процесс горения может быть замедлен, уменьшены плавы и дымообразующая способность. Необходимы дальнейшие исследования по выявлению эффективных и удобных по применению огнезащитных составов, а также исследования изменения теплофизических свойств пенополистиролов.

В дальнейшей работе будет исследоваться изменение теплофизических свойств ППС после обработки огнезащитными составами.

К теплофизическим свойствам, характеризующих процесс переноса тепла, относятся коэффициент теплоустойкости, теплопроводность и теплоемкость. На этих свойствах и будет основываться данное экспериментальное исследование.

2 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

2.1 Выбор базового вещества и способа обработки

По результатам дипломной работы лучшие результаты обеспечивает объемная пропитка составом «жидкое стекло + вода + полисорб» в процентном соотношении: «50%+45%+5%», а поверхностная обработка – «жидкое стекло + вода» в процентном соотношении «50%+50%».

В своей дальнейшей работе я буду применять поверхностную обработку образцов, так как такой способ обработки приводит к образованию на поверхности объекта защитного слоя, препятствующего возникновению (распространению)

пламени [24]. Этот способ дешевле, проще в производстве, не требует сложного оборудования и много времени на производство работ.

Пропитывающие вещества выбираю исходя из их стоимости, доступности, возможности образования защитной пленки на поверхности ППС, а также исходя из результатов своих дипломных исследований [24].

В качестве основного связующего вещества был выбран водный раствор клея жаростойкого «гарантсервис» (рисунок 9). Клей в своем составе имеет глину, порошок шамотный, пластификатор, цемент, минеральные и модифицированные добавки. Клеевая смесь обладает высокой силой сцепления с поверхностью и пластичностью. Не стекает с поверхности. Стойка к воздействию влаги и повышенных температур.



Рисунок 9 – Основное вещество

2 Вещества – добавки и их свойства



Рисунок 10 – Вещества-добавки

2.2.1 Шпаклевка финишная белая полимерная «Vetonit»

Финишное выравнивание стен и потолков в сухих помещениях перед оклейкой обоями и покраской.

Состав: известняк, полимерный клей.

Свойства: Легкое выравнивание стен и потолков, суперпластичная и супербелая, идеальное сведение слоев.

Средняя стоимость: 620 рублей (25 кг)

2.2.2 Пескобетон М200

Пескобетон универсальный недорогой материал, используется в строительных и монтажных работах, таких как - оштукатуривание стен, изготовление фундаментов, стяжка для пола, создания отмосток, кладка из кирпича и блоков.

Состав: Сухая бетонная смесь изготовлена на основе мелкозернистого плотного заполнителя – кварцевого песка и портландцемента.

Средняя стоимость: 150 рублей (25 кг)

2.2.3 Смесь кладочная глино-шамотная жаростойкая «Терракот»

Аналогичные названия: термостойкая, жаропрочная, огнестойкая, печная кладочная смесь, печной раствор и смесь для кладки печей и каминов. Жаростойкая кладочная смесь "Терракот" - готовый состав для обеспечения высококачественной и надежной кладки кирпичей в топочных и иных горячих зонах нагреваемых объектов (печей, каминов, мангалов, барбекю, дымоходов).

Состав: Глина каолиновая высшей очистки, шамот каолиновый, песок.

Свойства: Жаростойкая, экологически чистая, высокопластичная сухая смесь. Имеет хорошие адгезионные свойства, благодаря чему сцепляется со всеми типами поверхностей. Паропроницаема. Раствор способен пропускать, накапливать и отдавать назад пары влаги. Сохраняет свои свойства при нагреве до +1300°C.

Средняя стоимость: 100 рублей (5 кг)

2.2.4 Смесь штукатурная высокопрочная жаростойкая «Терракот»

Штукатурный состав на основе термостойкого минерального вяжущего с добавлением термостойких армирующих ингредиентов для выравнивания и отделки поверхностей нагреваемых объектов.

Состав: глина каолиновая, пыль шамотная каолиновая, связующее жаростойкое.

Свойства: Экологически чистая, высокопластичная смесь. Легко наносится и выравнивается. Обладает высокой силой сцепления (адгезией) с поверхностью.

Средняя стоимость: 140 рублей (5 кг)

2.2.5 Огнеупорная кладочная смесь «Терракот»

Благодаря отличной стойкости к высоким температурам, огнеупорная кладочная смесь используется как раствор для кладочных работ в банях, саунах, каминах и печах, везде, где температура превышает +1600 °C.

Свойства: огнеустойчивость, экологически – безопасен, большой срок эксплуатации.

Состав: порошок огнеупорной глины, песок для строительных работ, песок формовочный.

Средняя стоимость: 280 рублей (20 кг)

2.2.6 Побелка садовая «Гарантсервис»

Состав: известь, медный купорос.

Средняя стоимость: 20 рублей (1 кг)

2.2.7 Финишная шпатлевка латексная «Лакра»

Высококачественная, готовая к применению, шпатлевка на основе водной дисперсии акрилового латекса, имеет высокую адгезию к основанию и малую усадку. После высыхания отлично шлифуется. Содержит фунгицидные добавки, препятствующие появлению грибков.

Применяется для финишного выравнивания стен и потолков внутри помещений с умеренной влажностью.

Состав: дисперсия акрилового сополимера, микромрамор, пластификатор, функциональные добавки.

Свойства: Высококачественная, готовая к применению, шпатлевка на основе водной дисперсии акрилового латекса, имеет высокую адгезию к основанию, стойкость к растеканию и малую усадку.

Средняя стоимость: 80 рублей (1,5 кг)

2.2.8 Глина для лепки

Глина – экологичный продукт, абсолютно безопасен и не вызывает аллергической реакции, не содержит химических добавок. Предназначена для изготовления глиняной игрушки, изделий художественных промыслов, а также изготовления посуды и других керамических изделий. Для детей от 3-х лет.

Состав: экологически чистая кембрийская глина Чекаловского месторождения Ленинградской области. Не содержит химических добавок.

Средняя стоимость: 110 рублей (1 кг)

2.2.9 Глина каолиновая

Природный каолин ограниченно используют для производства шамота, полукислого огнеупорного кирпича, строительной керамики, белого цемента.

Свойства: высокая огнеупорность, низкая пластичность и связующая способность.

2.3 Оценка выгорания обработанных образцов ППС

Отбор проводим с целью выявления наиболее значимых веществ и их композиций для снижения горючести и плавкости образцов пенополистирола.

Для покрытия образцов в качестве основного огнезащитного вещества был выбран водный раствор жаростойкого клея с различными веществами-добавками.

Составы обрабатывающих растворов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Составы обрабатывающих растворов

Составы	Процентное соотношение
1. Клей + вода + шпаклевка Vetonit	35% + 35% + 30%
2. Клей + вода + пескобетон	45% + 45% + 10%
3. Клей + вода + смесь кладочная	35% + 35% + 30%
4. Клей + вода + смесь штукатурная	40% + 40% + 20%
5. Клей + вода + смесь огнеупорная	40% + 40% + 20%
6. Клей + вода + побелка садовая	40% + 40% + 20%
7. Клей + вода + шпатлевка «Лакра»	35% + 35% + 30%
8. Клей + вода + глина для лепки	40% + 40% + 20%
9. Клей + вода + глина каолиновая	40% + 40% + 20%
10. Клей + вода	50% + 50%

Примечания: В ходе приготовления обрабатывающих растворов, было замечено, что при добавлении пескобетона в водный раствор клея полученная смесь быстро затвердевает (в течение 5 минут), что затрудняет процесс нанесения раствора на образец пенополистирола. А после высыхания состав №2 с образца ППС осыпается.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории «Пожаровзрывобезопасность» кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ЮУрГУ на образцах беспрессового самозатухающего пенополистирола плотностью 20 кг/м³ и 28 кг/м³, как одного из самых широко используемых теплоизоляционных материалов.

После приготовления растворов, мы взяли по одному образцу ППС20 и ППС28, размерами (140x30x10)±1мм согласно ГОСТ [10]. Образцы обрабатывались поверхностным методом нанесения покрытий (как наиболее дешевый и технологичный способ огнезащиты) с помощью малярной кисти и окунанием образца в подготовленные растворы (рисунок 11).



Рисунок 11 – Обработка образцов огнезащитными составами

После сушки в течение 24 часов при комнатной температуре образцы были подвергнуты горению в открытом пламени спиртовки при следующих условиях, согласно ГОСТ 15588-2014:

- высота пламени горелки от конца фитиля: около 50 мм;
- расстояние от образца до фитиля горелки: около 10 мм;

– исследуемый образец выдерживали в пламени горелки в течение 10 с (по ГОСТ 30244-94 [11] требуется 4 с).

Для количественной оценки степени выгорания был применен показатель – степень выгорания σ , % [24].

Результаты горения и степени плава образцов представлены на рисунке 12 и в таблице 11.



Рисунок 12 – Степень выгорания образцов

Таблица 11 – Результаты горения и степени плава образцов

Обозначение	Плотность образца	Степень выгорания σ , %	Наличие плава
1Н	ППС20	55	+++
1Н 28	ППС28	35	+++
2Н	ППС20	40	+
2Н 28	ППС28	20	+
3Н	ППС20	30	+
3Н 28	ППС28	60	+++
4Н	ППС20	15	+
4Н 28	ППС28	30	++
5Н	ППС20	80	+++
5Н 28	ППС28	55	+
6Н	ППС20	60	+
6Н 28	ППС28	65	++
7Н	ППС20	40	++
7Н 28	ППС28	10	+
8Н	ППС20	20	+
8Н 28	ППС28	20	+
9Н	ППС20	15	–
9Н 28	ППС28	10	–
10Н	ППС20	35	++
10Н 28	ППС28	35	+

Примечания: «+++» – сильный плав

«++» – средний плав
 «+» – слабый плав
 « - » – отсутствие плава

Для проверки результатов отбора растворов для обработки пенополистирола, а также результатов дипломной работы, мы решили в качестве базового вещества использовать водный раствор жидкого стекла, с добавлением в него жаростойкого клея, и в этот раствор вводить вещества добавки: шпаклевка, пескобетон, смесь кладочная, смесь штукатурная, смесь огнеупорная, побелка, шпатлевка, глина для лепки, глина каолиновая.

Таблица 12 – Составы пропитывающих растворов

Составы	Процентное соотношение
1.ЖС + вода + клей + шпаклевка «Vetonit»	20% + 20% + 5% + 55%
2.ЖС + вода + клей + пескобетон	30% + 35% + 10% + 25%
3.ЖС + вода + клей + смесь кладочная	20% + 20% + 5% + 55%
4.ЖС + вода + клей + смесь штукатурная	30% + 35% + 10% + 35%
5.ЖС + вода + клей + смесь огнеупорная	20% + 20% + 5% + 55%
6.ЖС + вода + клей + побелка садовая	30% + 30% + 5% + 35%
7.ЖС + вода + клей + шпатлевка «Лакра»	30% + 30% + 5% + 35%
8.ЖС + вода + клей + глина для лепки	30% + 35% + 10% + 25%
9.ЖС + вода + клей + глина каолиновая	30% + 35% + 10% + 25%
10.ЖС + вода + клей	40% + 45% + 15%

Обработанные огнезащитными составами образцы (рисунок 13) после сушки при комнатной температуре были подвергнуты горению при условиях, описанных выше в пункте 2.3. Результаты по степени выгорания и наличию плава представлены на рисунке 14 и таблице 13.



Рисунок 13 – Образцы ППС после покрытия и сушки



Рисунок 14 – Степень выгорания образцов

Таблица 13 – Результаты горения и степени плава образцов

Обозначение	Плотность образца	Степень выгорания σ , %	Наличие плава
1Н	ППС20	35	+
1Н 28	ППС28	25	+
2Н	ППС20	25	++
2Н 28	ППС28	25	+
3Н	ППС20	30	+
3Н 28	ППС28	30	–
4Н	ППС20	30	–
4Н 28	ППС28	25	+
5Н	ППС20	20	+
5Н 28	ППС28	10	–
6Н	ППС20	20	+
6Н 28	ППС28	25	+
7Н	ППС20	10	+
7Н 28	ППС28	5	–
8Н	ППС20	15	+

8Н 28	ППС28	15	–
9Н	ППС20	10	+
9Н 28	ППС28	10	–
10Н	ППС20	20	+
10Н 28	ППС28	20	–

Примечания: «+++» – сильный плав
«++» – средний плав
«+» – слабый плав
«–» – отсутствие плава

При сравнении результатов горения составов водного раствора только жаропрочного клея с добавками и жаропрочного клея с жидким стеклом и добавками, можно сделать вывод, что при добавлении жидкого стекла уменьшается степень выгорания и плавкость образцов, что подтверждает правильность результатов наших дипломных исследований [24] и позволяет с данными составами проводить дальнейшие исследования.

При приготовлении растворов состав №2 с пескобетоном также быстро, как и в первом опыте, затвердевает, при нанесении – скатывается, а после сушки при комнатной температуре – осыпается.

Также при нанесении и при сжигании образцов наблюдалось осыпание покрытий и у других составов, что говорит о плохой адгезии веществ с ППС. Было принято решение проверить адгезию покрытых составами образцов.

2.4 Адгезия

Под адгезией понимают молекулярную связь между поверхностями приведенных в контакт разнородных тел, в результате чего образуется так называемая адгезионная связь [22]. В более широком смысле слова термином «адгезия» называют явление сцепления разнородных материалов.

Адгезия является самопроизвольным процессом. Работа адгезии, характеризующая прочность адгезионной связи, определяется работой обратимого разрыва адгезионной связи, отнесенной к единице площади.

От работы адгезии необходимо отличать адгезионную прочность – работу, затраченную на разрушение адгезионного соединения. Эта величина отличается тем, что в нее входит как работа разрыва межмолекулярных связей, так и работа, затраченная на деформацию компонентов адгезионного соединения[22].

Явление адгезии лежит в основе образования прочного контакта (склеивания) между твердым телом – субстратом и клеящим агентом – адгезивом, являющимися основными компонентами адгезионного соединения. В нашей работе, ППС является субстратом, а огнезащитное покрытие – адгезивом.

Для того, чтобы проверить наши огнезащитные составы на адгезию, сначала необходимо определиться с методом проверки адгезии.

2.4.1 Методы проверки адгезии

Специальной методики для проверки адгезии у пенополистирола нет, поэтому рассмотрим и выберем наиболее подходящий из методов определения адгезии у лакокрасочных изделий.

Существующие методы проверки адгезии [12]:

- метод отслаивания;
- метод решетчатых надрезов;
- метод решетчатых надрезов с обратным ударом;
- метод параллельных надрезов;
- метод отрыва;
- метод Х-образного надреза.

Метод отслаивания. Сущность метода заключается в определении адгезии отслаиванием гибкой пластинки от армированного стеклотканью покрытия и измерении необходимого для этого усилия [12].

Метод решетчатых надрезов. Сущность метода заключается в нанесении на готовое лакокрасочное покрытие решетчатых надрезов и визуальной оценке состояния покрытия по четырехбалльной системе. Метод не применим при

толщине покрытия более 250 мкм и для текстурированных (шероховатых) покрытий [15].

Метод решетчатых надрезов с обратным ударом. Сущность метода заключается в нанесении на готовое лакокрасочное покрытие решетчатых надрезов и визуальной оценке состояния решетки покрытия после ударного воздействия, оказываемого на обратную сторону пластины в месте нанесения решетки. Метод предназначен для определения адгезии высокоэластичных покрытий [12].

Метод параллельных надрезов. Сущность метода заключается в нанесении на готовое лакокрасочное покрытие параллельных надрезов и визуальной оценке состояния покрытия по трехбалльной системе. Толщина слоя не должна превышать 200 мкм [12].

Метод отрыва. На пластинки для испытаний одинаковой толщины и текстуры окрашиваемой поверхности наносят лакокрасочный материал (*ЛКМ*) [15].

Цилиндрические заготовки приклеивают непосредственно к поверхности лакокрасочного покрытия с помощью клея.

Склеенные образцы после затвердевания клея (высыхания или отверждения) испытывают на отрыв (растяжение), измеряя усилие, необходимое для отрыва покрытия от окрашиваемой поверхности.

Метод Х-образного надреза. Сопротивление систем защитных лакокрасочных покрытий адгезионному разрушению определяют методом Х-образного надреза и оценивают по качеству, используя шкалу от 0 до 5 баллов [13].

Метод Х-образного надреза может быть использован на покрытиях любой толщины. Метод Х-образного надреза может быть использован для твердых покрытий.

Проанализировав все перечисленные методы, был выбран метод Х-образного надреза. Данный метод является простым, доступным и позволяет количественно и качественно оценить адгезионные свойства покрытия.

2.4.2 Оценка адгезионных свойств покрытий методом X-образного надреза

Согласно ГОСТ [13] для проведения метода необходима следующая аппаратура и материалы:

- шаблон и линейка металлическая, чтобы получить прямые кромки;
- однолезвийный режущий инструмент;
- прозрачная липкая лента, приклеивающаяся при надавливании.

X-образные надрезы выполнялись до окрашиваемой поверхности однолезвийным режущим инструментом. Каждый надрез длиной не менее 40 мм. Угол пересечения надрезов между 30° и 45° . В начале новой серии испытаний с катушки с лентой удалили два полных витка ленты. При равномерной скорости отматывали и отрезали кусок длиной примерно 75 мм [13].

Центр отрезанной ленты помещали на центр X-образного надреза, разглаживали ее вдоль острых углов, плотно прижимая к покрытию, и удаляли через 5 мин, держа за свободный конец и плавно отрывая за 0,5-1,0с под углом примерно 60° вместе с отслоившимися участками покрытия.

После проведения метода, используя рисунок 15, определяем степень разрушения в баллах от 0 (высокая адгезия) до 5 (низкая адгезия).

Результаты адгезии ППС с полученными нами составами представлены в таблице 14 и на рисунке 16.







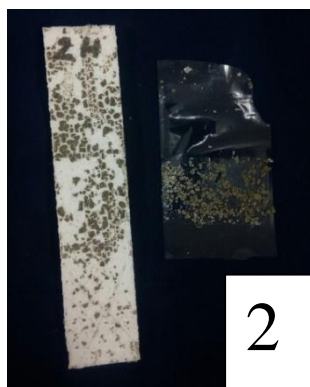
	
балл 0	Балл 1
	
балл 2	балл 3
	
балл 4	балл 5

Рисунок 15 – Оценка результатов испытаний адгезии [13]



2



3

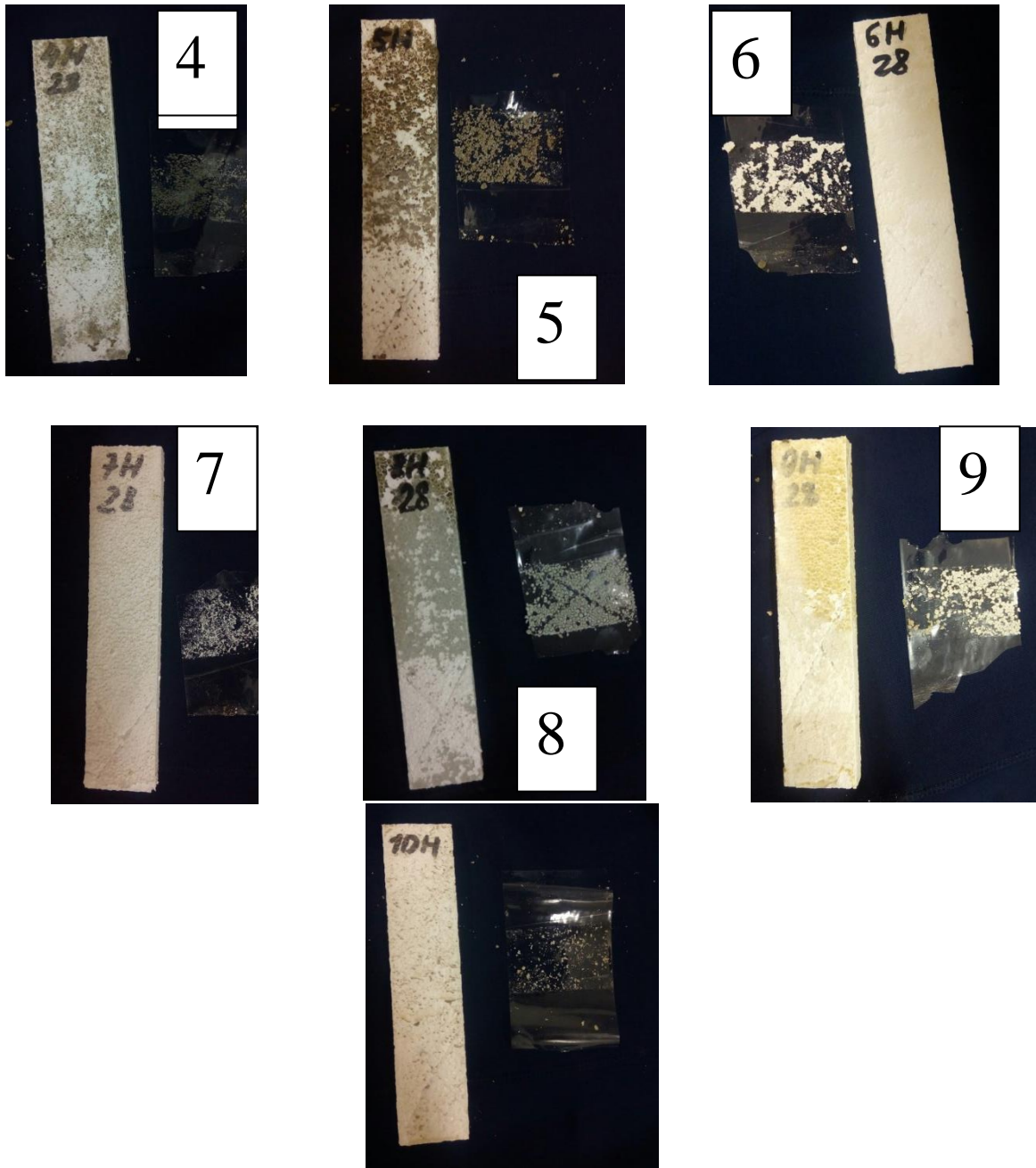


Рисунок 16 – Результаты адгезии методом Х-образного надреза

Таблица 14 – Результаты оценки адгезии методом Х-образного надреза по ГОСТ 32702.2-2014 [13]

Составы	Адгезия, балл
1.ЖС + вода + клей + шпаклевка «Vetonic»	5
2.ЖС + вода + клей + пескобетон	5
3.ЖС + вода + клей + смесь в 10	5
4.ЖС + вода + клей + смесь цементная	4
5.ЖС + вода + клей + смесь огнеупорная	5

6.ЖС + вода + клей + побелка садовая	5
7.ЖС + вода + клей + шпатлевка «Лакра»	4
8.ЖС + вода + клей + глина для лепки	5
9.ЖС + вода + клей + глина каолиновая	4
10.ЖС + вода + клей	3

По результатам рисунка 16 и таблицы 14, можно сделать вывод, что адгезия покрытий на основе жаростойкого клея и стекла с добавками низкая – сильное отслаивание покрытий.

Выводы по главе 2:

Результаты по проведенным экспериментальным исследованиям сведем в таблицу 15.

Таблица 15 – Оценка эффективности огнезащитных покрытий для ППС

Добавки	Жаростойкий клей + жидкое стекло + H ₂ O + добавка		Добавки	Жаростойкий клей + жидкое стекло + H ₂ O + добавка	
	20кг/м ³	28 кг/м ³		20кг/м ³	28 кг/м ³
1.Vetonit	20%+20%+5%+55%		6. Побелка садовая	30%+30%+5%+35%	
Адгезия, балл	5		Адгезия, балл	5	
Степень выгорания, %	35	25	Степень выгорания, %	20	25
Плавление	+	+	Плавление	+	+

Продолжение таблицы 15

Добавки	Жаростойкий клей + жидкое стекло + H ₂ O + добавка		Добавки	Жаростойкий клей + жидкое стекло + H ₂ O + добавка	
	20кг/м ³	28 кг/м ³			20кг/м ³
2. Пескобетон М200	30%+35%+10%+25%		7. Шпатлевка «Лакра»	30%+30%+5%+35%	
Адгезия, балл	5		Адгезия, балл	4	
Степень выгорания, %	25	25	Степень выгорания, %	10	5
Плавление	++	+	Плавление	+	–
3. Смесь кладочная «Терракот»	20%+20%+5%+55%		8. Глина для лепки	30%+35%+10%+25%	
Адгезия, балл	5		Адгезия, балл	5	
Степень выгорания, %	30	30	Степень выгорания, %	15	15
Плавление	+	–	Плавление	+	–
4. Смесь штукатурная «Терракот»	30%+35%+10%+25%		9. Глина каолиновая	30%+35%+10%+25%	
Адгезия, балл	4		Адгезия, балл	4	
Степень выгорания	30	25	Степень выгорания, %	10	10
Плавление	–	+	Плавление	+	–
5. Смесь огнеупорная	20%+20%+5%+55%		10. Без добавок	45%+45%+10%	
Адгезия, балл	5		Адгезия, балл	3	
Степень выгорания, %	20	10	Степень выгорания, %	20	20
Плавление	+	–	Плавление	+	–

Исходя из таблицы 15, можно сделать вывод, что огнезащитные покрытия на основе жаростойкого клея и водного раствора жидкого стекла с добавками имеют низкую (плохую) адгезию покрытия к поверхности материала, но при этом снижают горючесть пенополистирола, уменьшают плавление образцов.

Покрытие без добавок, покрытия с добавками глина каолиновая (№4) и шпатлевка «Лакра» (№7) показали лучшие результаты по всем рассмотренным параметрам. Поэтому для дальнейшего исследования будут рассматриваться огнезащитные составы на основе жаростойкого клея и водного раствора жидкого стекла без добавок, а также с добавками №4 и №7.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ, ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА, ОБРАБОТАННОГО ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

3.1 Исследование теплопроводности пенополистирола, обработанного огнезащитными составами

Одним из достоинств пенополистирола является его низкая теплопроводность, которая имеет наименьший коэффициент теплопроводности из всех утеплительных материалов, в среднем 0,035 Вт/(м·К). Неизвестно, как нанесенные покрытия повлияют на коэффициент теплопроводности – повысится или останется прежним. Это важный вопрос, если ППС будет использоваться как утеплительный материал. Поэтому актуально проверить изменение коэффициента теплопроводности ППС, обработанного огнезащитными покрытиями.

3.1.1 Обработка составами образцов ППС

Для проведения экспериментов на исследование теплофизических свойств пенополистирола также использовались образцы беспрессового самозатухающего ППС плотностью 20 и 28 кг/м³. Были вырезаны образцы размерами (150×150×18)±2 мм [45]. Затем, мы взяли по одному образцу ППС20 и ППС28 и покрыли поверхностным способом составами, выбранными по результатам предыдущей главы диссертации (рисунок 17, таблица 16). После 24 часов сушки образцы исследовались на теплопроводность.

Таблица 16 – Огнезащитные составы для обработки ППС

Добавки	Жаростойкий клей + жидкое стекло + вода + добавка, % масс.
7. Шпатлевка латексная «Лакра»	30 + 30 + 5 + 35
9. Глина каолиновая	30 + 30 + 5 + 35



Рисунок 17 – Обработанные составами образцы ППС

3.1.2 Измерение теплопроводности обработанных образцов

Для измерения коэффициента теплопроводности используют измеритель теплопроводности ИТС-1 (рисунок 18). Принцип действия прибора основан на создании проходящего через исследуемый плоский образец стационарного теплового потока, направленного перпендикулярно к лицевым граням образца, измерении этого теплового потока, температуры противоположных граней образца и его толщины (рисунок 19) [16].

Температура окружающей среды при проведении экспериментов 21 – 24 °С, относительная влажность 40 – 45%. В ходе эксперимента фиксируется стационарный тепловой поток q и разность температур между противоположными гранями образца ΔT .

3.1.3 Проведение испытания

Подлежащий испытанию образец помещают в прибор. Расположение образца – горизонтальное. Устанавливают заданные значения температур рабочих поверхностей плит прибора и последовательно через каждые 300с проводят измерения:

– сигналов тепломера и датчиков температур лицевых граней образца, если плотность теплового потока через испытываемый образец измеряют при помощи тепломера;

– мощности, подаваемой на нагреватель зоны измерения горячей плиты прибора, и сигналов датчиков температур лицевых граней образца, если плотность теплового потока через испытываемый образец определяют путем измерения электрической мощности, подаваемой на нагреватель зоны измерения горячей плиты прибора.

Тепловой поток через испытываемый образец считают установившимся (стационарным), если значения термического сопротивления образца, вычисленные по результатам пяти последовательных измерений сигналов датчиков температур и плотности теплового потока, отличаются друг от друга менее чем на 1%, при этом эти величины не возрастают и не убывают монотонно.

После достижения стационарного теплового режима измеряют толщину помещенного в прибор образца штангенциркулем с погрешностью не более 0,5%.

После окончания испытания проводят дальнейшие расчеты [16].

Коэффициент теплопроводности (λ) вычисляется по формуле:

$$\lambda = d \cdot q / \Delta T, \quad (5)$$

где q – плотности теплового потока, проходящего через образец, Вт/м² ;

d – толщина образца, мм;

ΔT – разность температур между противоположными гранями образца.

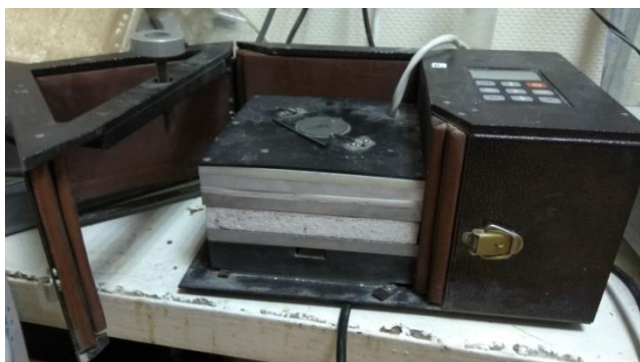
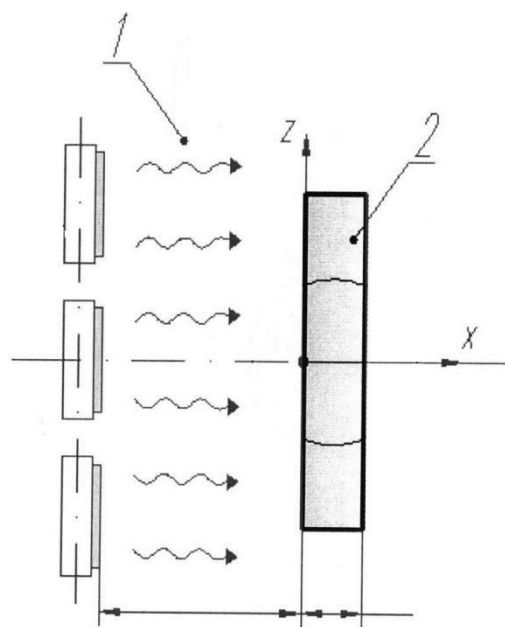
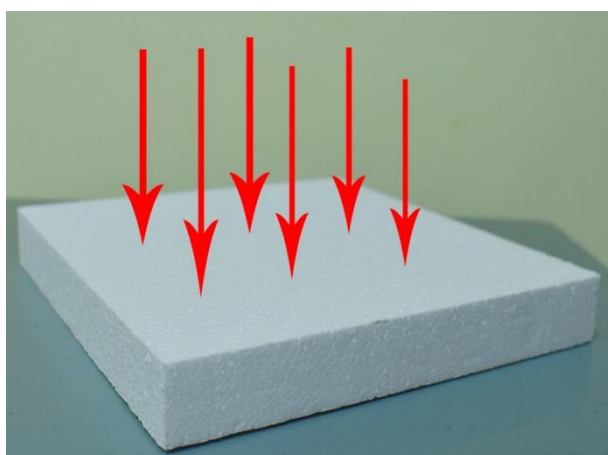


Рисунок 18 – Внешний вид измерителя теплопроводности ИТС-1 с образцом ППС [45]



1 – тепловой поток

2 – образец

Рисунок 19 – Принцип действия измерителя теплопроводности ИТС-1

Теоретические значения коэффициента теплопроводности для пенополистирол плотностью 20 кг/м^3 составляет $\lambda = 0,035 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, плотностью 28 кг/м^3 – $0,033 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ [42].

Для начала проводились измерения теплопроводности четырех исходных образцов ППС без покрытия – два образца плотностью 20 кг/м^3 и два – 28 кг/м^3 .

Затем проводились измерения образцов ППС, обработанных композициями, представленными в таблице 16, по 2 образца на каждый раствор.

Таблица 17 – Экспериментальные значения коэффициента теплопроводности для различных огнезащитных композиций

Базовое вещество	Добавки	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)			
		20кг/м ³		28 кг/м ³	
		1	2	1	2
Исходный образец	–	0,0315	0,0347	0,0325	0,0314
Клей жаростойкий + жидкое стекло + H ₂ O +	шпатлевка «Лакра»	0,035		0,034	
	Глина каолиновая	0,036		0,035	
	–	0,034		0,034	

Как видно по таблице 17, после обработки огнезащитными составами ППС коэффициент теплопроводности изменяется в пределах одной тысячной, относительно значений исходных образцов. Это значит, что покрытия не повлияют на эффективность пенополистирола, как теплоизоляционного материала.

3.2 Определение теплового сопротивления

Тепловое сопротивление – способность тела (его поверхности или какого-либо слоя) препятствовать распространению теплового движения молекул. Зависит от теплопроводности и толщины материала и находится по формуле:

$$R = \frac{l}{\lambda}, \quad (6)$$

где l – толщина ППС (таблица 18);

λ – коэффициент теплопроводности.

Определим тепловое сопротивление (таблица 18).

Таблица 18 – Тепловое сопротивление обработанных огнезащитными составами образцов ППС

Базовое вещество	Добавки	Тепловое сопротивление R, (К·м ²)/Вт	
		20кг/м ³	28 кг/м ³
Исходный образец	–	0,510	0,550
Клей жаростойкий + жидкое стекло + H ₂ O +	шпатлевка «Лакра»	0,517	0,538
	Глина каолиновая	0,525	0,543
	–	0,541	0,535

Также, как и коэффициент теплопроводности, тепловое сопротивление отличается от исходного образца лишь на сотые единицы. Эффективность теплоизоляционного материала сохранится.

3.3 Исследование водопоглощения пенополистирола, обработанного огнезащитными составами

Другим важным показателем строительных материалов является водопоглощение. Пенополистирол является достаточно стойким к действию влаги. Его поведение зависит от водостойкости полимерной основы и главным образом от структуры. Наилучшими свойствами обладает пенополистирол с замкнутыми порами и ячейками. Не менее важным фактором является кажущаяся плотность ППС и наличие на поверхности плит уплотнённой плёнки (корки) [49].

В соответствии с ГОСТ [5] водопоглощение за 24 часа по объему у пенополистирола плотностью 20 и 28 кг/м³ не должно превышать 2,0%. Несмотря на то, что пенополистирол по своей структуре не гигроскопичен, не растворяется и не деформируется (не разбухает) в воде, под действием механизма капиллярной диффузии вода может проникнуть в полости между гранулами пенопласта [40].

Водопоглощение образцов ППС с защитными покрытиями определяется по ГОСТ 15588-2014. Сущность метода заключается в определении массы воды, поглощенной образцами сухого материала после полного погружения их в дистиллированную воду и выдерживания в ней в течение заданного времени [5].

Мы взяли сухие образцы и предварительно взвешивали их на электронных весах 2-го класса точности. Затем образцы поместили в ванну на подставку из лодочек и зафиксировали их положение пригрузом. В ванну залили дистиллированную воду с температурой $(22\pm 5)^\circ\text{C}$ так, чтобы уровень воды был выше пригруза не менее чем на 20 мм (см. рисунок 20).



Рисунок 20 – Ванна с образцами и дистиллированной водой для определения водопоглощения

Через 24 ч мы достали образцы, протерли их фильтровальной бумагой и взвесили на весах 2-го класса точности с погрешностью не более 0,01 г (рисунок 21). Результаты взвешиваний представлены в таблице 19.



Рисунок 21 – Взвешивание образцов после водопоглощения

Водопоглощение W , % по объему, вычисляют по формуле:

$$W_B = \frac{m - m_0}{V\gamma_0} 100, \quad (7)$$

где m – масса образца после выдерживания его в воде, г;

m_0 – масса образца до погружения в воду, г;

V – объем образца, см^3 ;

γ_0 – плотность воды, $\text{г}/\text{см}^3$.

Результаты приведены в таблице 20.

Таблица 19 – Данные взвешивания образцов ППС до и после проведения испытаний на водопоглощение

Базовое вещество	Добавки	20 $\text{кг}/\text{м}^3$			
		Толщина, мм	Вес до, г	Вес после, г	Размер после, мм
Исходный образец	–	18,2	7,73	8,54	149,2x150,8x18
Жаростойкий клей + жидкое стекло + H_2O +	Шпатлевка «Лакра»	18,1	14,32	14,96	148,1x148,8x18
	Глина каолиновая	18,9	13,89	12,24	148,5x148x18,7
	–	18,4	10,82	9,55	148,8x148,4x18,3

Продолжение таблицы 19

Базовое вещество	Добавки	28 кг/м ³			
		Толщина, мм	Вес до, г	Вес после, г	Размер после, мм
Исходный образец	–	18,2	10,19	10,31	149,5x149,4x18
Жаростойкий клей + жидкое стекло + H ₂ O +	Шпатлевка «Лакра»	18,3	19,17	19,33	149,8x150,7x18,2
	Глина каолиновая	19	17,55	15,17	150x149,3x18,8
	–	18,2	14,06	13,73	150,1x150x18,1

Таблица 20 – Водопоглощение образцов ППС с защитными покрытиями

Огнезащитный состав	Добавка к огнезащитному составу	Водопоглощение за 24 ч, %
Жаростойкий клей + водный раствор жидкого стекла	Шпатлевка «Лакра»	0,04
	Глина каолиновая	– 0,4
	–	– 0,8
Исходный образец		0,20

На основании полученных результатов (см. таблица 20) следует, что водопоглощение исходного материала составляет 0,2% и не превышает установленных требований. Образцы ППС с огнезащитными покрытиями на основе жаростойкого клея и водного раствора жидкого стекла с негорючими добавками, за исключением состава с добавлением шпатлевки «Лакра», имеют, хоть и незначительное по величине, но отрицательные значения. Это объясняется, по-видимому, тем, что пластификаторы, модифицированные добавки и поверхностно-активные вещества, входящие в состав клея и глины, способны незначительно растворяться в воде. Кроме того, учитывая низкую адсорбционную способность покрытий (см. таблица 14), под действием воды может происходить частичное его отслаивание. Однако даже эти факторы не оказывают существенного влияния на огнезащитные свойства покрытий, которые при повторных испытаниях сохраняют свою первоначальную эффективность.

Шпатлевка «Лакра» имеет большее значение. Это объясняется, по-видимому, тем, что шпатлевка немного нарушает целостность поверхностной корки пенополистирола, тем самым открывая ячейки, куда может попадать вода.

На основе проведенных опытов сведем результаты в таблицу 21.

Таблица 21 – Результаты исследования теплопроводности, теплового сопротивления и водопоглощения обработанных огнезащитными составами образцов пенополистирола

Показатели	Исходный образец		Жаростойкий клей + жидкое стекло + вода +				Без добавок	
			Шпатлевка «Лакра»		Глина каолиновая			
Плотность, кг/м ³	20	28	20	28	20	28	20	28
Адгезия, балл	–		4		4		3	
Степень выгорания σ , %	75	70	10	5	10	10	20	20
Плавление	+++	+++	+	–	+	–	+	–
Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	0,035	0,033	0,035	0,034	0,036	0,035	0,034	0,034
Тепловое сопротивление R, (К·м ²)/Вт	0,51	0,55	0,517	0,538	0,525	0,543	0,541	0,535
Водопоглощение W за 24 ч, %	0,20		0,04		– 0,4		– 0,8	

Для оценки эффективности огнезащитных покрытий была предложена комплексная оценка, учитывающая:

- адгезию покрытий,
- степени выгорания образцов,
- визуальная оценка плавления
- коэффициента теплопроводности,
- теплового сопротивления,
- водопоглощения.

Выводы по 3 главе:

Исследование огнезащитных составов на основе водного раствора жидкого стекла с добавками на образцах пенополистирола показало, что коэффициент теплопроводности почти не изменяется при нанесении огнезащитных составов.

Тепловое сопротивление, у обработанных образцов практически не отличается от исходных образцов без покрытий.

Водный раствор жаропрочного клея и водного раствора жидкого стекла с добавкой «глина каолиновая» и без добавок оказало снижение водопоглощения у образцов пенополистирола. Состав с добавкой «шпатлевка «Лакра» наоборот, увеличило водопоглощение образцов, поэтому не подходит для практического применения в строительстве.

Для оценки эффективности огнезащитных покрытий была предложена комплексная оценка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пенополистирол (ППС) является одним из лучших теплоизоляторов, оставляющим далеко позади себя в соотношении цена/качество все прочие строительные материалы. Сочетание прочностных и теплоизоляционных свойств, легкость в обработке и переработке, низкая стоимость позволяет использовать этот материал в качестве тепловой изоляции отдельных элементов строительных конструкций и промышленного оборудования.

Пенополистирол, несмотря на все свои преимущества, является горючим и токсичным материалом. Обладает высокой дымообразующей способностью и сильным плавлением, что приводит к быстрому распространению огня.

Пожары, обусловленные воспламенением и горением полимерных материалов, ежегодно наносят большой ущерб различным отраслям экономики.

В ходе работы было выявлено, что, несмотря на существенное усиление требований безопасности с 2016 года к горючему строительному материалу пенополистиролу, остаются неоднозначности требований по оценке его пожарнотехнических показателей. Это отражается и в анализе сертификатов пожарной безопасности производителей на плиты из ППС и экспертных исследований, которые выявили различия по оценкам классов горючести, токсичности и воспламеняемости плит из пенополистирола. Следовательно, учитывая высокий спрос на этот материал при строительстве зданий эконом-класса, остаются актуальными задачи по разработке дополнительных защитных мер при его применении, а также по разработке возможных способов снижения пожароопасных свойств этого материала.

Патентный поиск и результаты дипломной работы выявили один из эффективных способов снижения горючести – это применение огнезащитных покрытий на основе огнестойких негорючих наполнителей.

В дипломной работе была предложена методика по оценке пожарнотехнических показателей по оценке степени выгорания, плавления и опасности

дымообразования. Для оценки плава образцов, которая проводилась визуально, была разработана шкала от сильного плава до отсутствия плава. Оценка опасности дымообразования включает в себя контроль продуктов сгорания по фенолу, формальдегиду и саже, которые характеризуют процессы протекания горения. Затем была проведена оценка сажеобразования по шкале градаций серого. Таким образом оценка выгорания, плавления и опасности дымообразования выявила лучшие составы – это водные растворы с жидким стеклом.

В диссертационной работе применялась поверхностная обработка образцов. Этот способ дешевле, проще в производстве, не требует сложного оборудования и много времени на производство работ.

Базовый состав пропитывающих веществ для огнезащитных составов выбирался исходя из их стоимости, доступности, возможности образования защитной пленки на поверхности ППС, а также исходя из результатов дипломных исследований.

В ходе диссертационной работы была проведена обработка образцов составами на основе водного раствора жаростойкого клея с негорючими добавками. Определены степени выгорания обработанных образцов. Так как образцы имели высокую степень выгорания, то в базовый состав было решено добавить жидкое стекло.

Далее эксперимент проводился с водным раствором жидкого стекла в пропорциях 50% на 50%, с добавлением в него высокопрочного плиточного клея, и в этот раствор вводились вещества-добавки.

Для оценки эффективности огнезащитных покрытий была предложена комплексная оценка, учитывающая:

- адгезию покрытий,
- степени выгорания образцов,
- визуальная оценка плавления
- коэффициента теплопроводности,

- теплового сопротивления,
- водопоглощения.

Была проверена степень выгорания образцов и адгезия составов к пенополистиролу. Был сделан вывод, что огнезащитные покрытия на основе жаростойкого клея и водного раствора жидкого стекла с добавками имеют низкую (плохую) адгезию покрытия к поверхности материала, но при этом снижают горючесть пенополистирола, уменьшают плавление образцов.

Проведено исследование теплопроводности, водопоглощения и теплового сопротивления у обработанных образцов.

Исследование теплофизических свойств огнезащитных покрытий на измерителе теплопроводности ИТС-1 показало, что коэффициент теплопроводности пенополистирола, также как и тепловое сопротивление, изменяется не существенно, поэтому пенополистирол, обработанный предложенными огнезащитными составами сохранит высокие показатели теплофизических свойств.

Водопоглощение образцов, покрытых составами на основе водных растворов жаростойкого клея и жидкого стекла, имеет, хоть и не значительное по величине, но отрицательное значение. Это объясняется тем, что пластификаторы, модифицированные добавки и поверхностно-активные вещества, входящие в состав клея и глины, способны незначительно растворяться в воде. Кроме того, учитывая низкую адсорбционную способность покрытий (см. таблица 14), под действием воды может происходить частичное его отслаивание. Однако даже эти факторы не оказывают существенного влияния на огнезащитные свойства покрытий, которые при повторных испытаниях сохраняют свою первоначальную эффективность.

На основании результатов проведенных исследований установлено, что применение негорючих и жаростойких материалов в составах огнезащитных покрытий, обеспечивает снижение пожарной опасности и не влияет на физические и теплофизические свойства пенополистирола.

Было экспериментально установлено, что с помощью нанесения покрытий на основе жидкого стекла можно улучшить пожарно-технические показатели пенополистирола (ППС), при этом не изменяя его теплофизические свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Конституция Российской Федерации от 12.12.1993г. (с учетом поправок, внесенных Законами Российской Федерации о поправках к Конституции Российской Федерации от 30.12.2008 N 6 – ФКЗ, от 30.12.2008 N 7–ФКЗ, от 05.02.2014 N 2 – ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ);

2 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197 – ФЗ (ред. от 30.12.2015);

3 Федеральный закон от 21.12.1994 N 69 – ФЗ (ред. от 30.12.2015) «О пожарной безопасности»;

4 ГОСТ 15588-86. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия;

5 ГОСТ 15588-2014. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия. (Взамен ГОСТ 15588-86);

6 ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения;

7 ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть;

8 ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость;

9 ГОСТ 30444-97. Материалы строительные. Методы испытания на распространение пламени;

10 ГОСТ Р 52044-2003. Наружная реклама на автомобильных дорогах и территориях городских и сельских поселений;

11 ГОСТ 30402. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость;

12 ГОСТ 15140. Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии;

13ГОСТ 32702.2-2014 (ISO 16276-2:2007). Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом X-образного надреза;

14ГОСТ 32299-2013 (ISO 4624:2002). Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва;

15ГОСТ 31149-2014 (ISO 2409:2013). Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза (с поправкой);

16ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме;

17 Сертификат соответствия №С-RU.ПБ05.В.00642 (приложение) от 23.03.2010;

18 Сертификат соответствия №С-RU.ПБ58.В.01745 (приложение) от 26.10.2015;

19 Сертификат соответствия №С-RU.ПБ57.В.01230 (приложение) от 10.08.2012;

20М 02-01-2005 Методика выполнения измерений массовой концентрации фенолов в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе населенных мест;

21М 02-02-2005 Методика выполнения измерений массовой концентрации формальдегида в воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе населенных мест.

22Александрова, А. А. Адгезия. Методы для изучения адгезионной прочности: реферат / А.А. Александрова. – Челябинск, 2011. – 19с.;

23Бек-Булатов, А.И. Пенополистирол – история создания и долговечность / А.И. Бек-Булатов // Научно-технический и производственный журнал. – 2010. – С. 92.;

24Владимирова, Н.Е. Исследование снижения горючести пенополистирола путем пропитки жидким стеклом / Н.Е. Владимирова, И.П. Палатинская, С.И. Боровик // Проблемы экологической и промышленной безопасности современного мира. Материалы XXI конференции. - Иркутск, 2016. - С.117-119;

25 Владимирова, Н.Е. Исследование уменьшения токсичности и горючести пенополистирола путем пропитки жидким стеклом: диплом студента / Н.Е. Владимирова. – Челябинск, 2016. – 80 с.;

26 Владимирова, Н.Е. Экспериментальные исследования уменьшения горючести и дымообразования при обработке пенополистирола составами с натрием кремнефтористым / Владимирова Н.Е., Палатинская И.П., Боровик С.И., Аскарлов Р.Т. // Наука ЮУрГУ. Материалы 68-ой научной конференции. – 2016. – С. 374–381;

27 Внутреннее утепление стен пенопластом [Электронный ресурс] – <http://moydomik.net/steny-i-perekrytiya/240-vnutrennee-uteplenie-sten-penoplastom-iznutri.html>;

28 Дементьев, А.Г. Структура и свойства газонаполненных полимеров: дис. ... д-ра техн. наук / А.Г. Дементьев. – М., 1997. – 409 с.;

29 Дементьева, Е.С. Экспериментальные исследования уменьшения горючести и дымообразования при обработке пенополистирола составами с натрием кремнефтористым / Дементьева Е.С., Палатинская И.П., Боровик С.И., Аскарлов Р.Т. // Наука ЮУрГУ. Материалы 68-ой научной конференции. – 2016. – С. 395–403;

30 Доронин, Е.В. Исследование пожарно-технических характеристик пенополистирола, Е.В. Доронин, Е.С. Седышев / Харьковская национальная академия городского хозяйства. – Харьков, С.140–143;

31 Камалова, Е. Теплоизоляционные материалы: нет дыма без огня? / Е. Камалова // Кровля. Фасады. Изоляция. – 2007. – №6. – С. 60–66;

32 Качур, В.А. Экспериментальные исследования уменьшения горючести и дымообразования при обработке пенополистирола составами с натрием кремнефтористым / Качур В.А., Палатинская И.П., Боровик С.И., Аскарлов Р.Т. // Наука ЮУрГУ. Материалы 68-ой научной конференции. – 2016. – С. 381–387;

33 Коканин, С.В. Исследование долговечности теплоизоляционных материалов на основе пенополистирола: диссертация / С.В. Коканин. – Иваново, 2011. – 170 с;

34 Огнестойкость и пожарная опасность конструкций покрытий на основе стального профилированного листа с полимерным утеплителем: Рекомендации. – М.: ФГБУ ВНИИПО, 2015. – 29 с;

35 Основные сведения о материале пенополистирол [Электронный ресурс] – <https://polimerinfo.com/penopolistirol/penopolistirol-chto-eto-takoe.html>;

36 Павлов, В.А. Пенополистирол / В.А. Павлов. – М. : Химия, 1973. – 240 с.;

37 Палатинская, И. П. Анализ горючести плит из пенополистирола / И.П. Палатинская, С.И. Боровик, Н.Е. Владимирова, Е.С. Дементьева, В.А. Качур // Межд. научно-практ. конф. «Наука сегодня: проблемы и пути решения», Вологда: ООО «Маркер», 2016. Часть 1. С. 58-60.;

38 Палатинская, И. П. Анализ требований нормативной документации по пожарно-техническим показателям пенополистиролов / И. П. Палатинская, С. И. Боровик, Е. С. Дементьева, Н. Е. Редькина, В. А. Синтяева, И. В. Хитрик // Сервис технических систем – агропромышленному комплексу России. Матер. междунар. науч.-практ. конференции. – Челябинск : ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 2017. – С. 159–164;

39 Палатинская, И.П. Исследование влияния огнезащитных покрытий на свойства пенополистирола / И.П. Палатинская, С.И. Боровик, А.А. Орлов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 47–52;

40 Палатинская, И.П. Исследование эффективности огнезащитных покрытий для пенополистирола / И.П. Палатинская, С.И. Боровик, В.А. Синтяева и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 44–51;

41 Пенополистирол [Электронный ресурс] – http://www.alphapor.ru/broshuri/alfapor_a5_min.pdf;

42 Показатели теплопроводности пенополистирола [Электронный ресурс]. – <http://kotel.guru/uteplenie/utepliteli/pokazateliteploprovodnostipenopolistirola.html>;

43 Полимер – инфо [Электронный ресурс] – Официальный сайт «Ассоциация производителей и поставщиков пенополистирола» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://epsrussia.ru/sites/> (дата обращения: 20.01.2017);

44 Редькина, Н.Е. Экспериментальное исследование оценки плава и сажеобразования при горении образцов пенополистирола, обработанных жидким стеклом / Н.Е. Редькина, И.П. Палатинская, С.И. Боровик // "Безопасность – 2017": материалы докладов XXII Всероссийской студенческой научно–практ. конф. с междунар. участием «Проблемы экологической и промышленной безопасности современного мира». – Иркутск : Изд–во ИРНИТУ, 2017. – С. 276–277;

45 Руководство по эксплуатации ИТС-1 Измеритель теплопроводности [Электронный ресурс]. –<https://www.interpribor.ru/assets/userfiles/11/126/Its-1.pdf>;

46 Савкин Ю.В. Новый ГОСТ на пенополистирол // Строительная орбита. 2016. №07. С. 16–18. URL: <http://epsrussia.ru/node/546> (дата обращения: 20.01.2017);

47 Строительные и отделочные материалы [Электронный ресурс] – <http://magnit38.ru/index.php/teploizolyatsiya/ekstrudirovannyj-penopolistirol>;

48 Ушанов, В.В. Огнестойкость и пожарная опасность сэндвич-панелей и предложения по внесению изменений в нормативные правовые акты по пожарной безопасности в части их применения в зданиях и сооружениях различного функционального назначения / В.В. Ушанов, В.Е. Фадеев, В.С. Харитонов, В.И. Щелкунов, А.В. Павловский, А.А. Косачев // Пожарная безопасность. – 2016. – № 4. – С. 119–122;

49 Ярцев, В.П. Физико-механические и технологические основы применения пенополистирола при дополнительном утеплении зданий и сооружений: уч. пособие / В.П. Ярцев, К.А. Андрианов, Д.В. Иванов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 120 с.;

50 Palatinskaya, I.P. EXPERIMENTAL STUDY ON PROPORTIONING OF FLAME RETARDANT MATERIALS FOR REDUCING THE FLAMMABILITY OF

EXPANDED POLYSTYRENE / I.P. Palatinskaya, S.I. Borovik, N.E. Vladimirova, E.S. Dementieva, V.A. Sintyaeva // scientific publications journal. – № 10 (October) / Scientificinformation publishing center«Strategic Studies Institute»; Editor-in-chief – A.N. Zotin.– Moscow, 2016. – C.22–26.