

БУРДОНОВ Александр Евгеньевич

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ
ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СМОЛ И ЗОЛЫ УНОСА ДЛЯ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ**

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
ЗЕЛИНСКАЯ Елена Валентиновна

Официальные оппоненты: **МАТВЕЕВА Лариса Юрьевна**, доктор технических наук, профессор, ФГУП «Ордена Ленина и Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С.В. Лебедева» (ФГУП «НИИСК»), ведущий научный сотрудник, г. Санкт-Петербург;

ГОРБУНОВА Ирина Юрьевна, доктор химических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», кафедра технологии переработки пластмасс, профессор, г. Москва.

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО "Московский государственный строительный университет"**

Защита диссертации состоится 10 февраля 2015 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д **212.223.01** при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 219).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте www.spbgasu.ru

Автореферат разослан «___» декабря 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор

Казаков Юрий Николаевич

I. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Актуальность. Необходимость применения высокоэффективных теплоизоляционных материалов при подземной прокладке трубопроводов является важной народно-хозяйственной задачей. Трубопроводы и тепловые сети являются основными элементами систем централизованного теплоснабжения. Их общая протяженность в Российской Федерации составляет более 260000 км. Для изоляции трубопроводов ежегодно требуется замена от 12 до 60 % утеплителя. Применяемая в настоящее время трубная изоляция в большинстве случаев не удовлетворяет требованиям по прочности, пожаробезопасности и коррозионной стойкости.

Для устранения указанных недостатков необходимо разрабатывать и применять способы повышения эксплуатационных показателей теплоизоляционных материалов. Повышение качества теплоизоляции, получаемой, в частности, из полимерных композиций с применением заливочной технологии, доля которых на рынке составляет около 15 %, возможно путем введения в исходное сырье модифицирующих добавок, в том числе наполнителей, влияющих на характеристики получаемого материала.

Государственные программы по энергосбережению «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года № 2446-р», экологическому развитию «Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года», а также законодательные акты, такие как Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», Федеральный закон № 89-ФЗ (ред. от 08.11.2008) «Об отходах производства и потребления», ставят задачу развития производств высокоэффективных материалов с использованием отходов производства и потребления.

Работа выполнялась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы, ГК № 16.740.11.0530, ГК № 14.132.21.1810 и АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)», проект 3.1.2/11868.

Степень разработанности темы исследования. Теоретическими основами работы стали исследования российских ученых, посвященные проблеме разработки составов и технологий получения на их основе строительных материалов: Берлина А.А., Симонова-Емельянова И.Д., Пухаренко Ю.В., Тихонова Ю.М., Хозина В.Г., Огрель (Матвеева) Л.Ю., Андрианова Р.А., Шутова Ф.А., Низамова Р.К., Абдрахмановой Л.А.

Цель и задачи исследования.

Целью исследования является разработка составов композиций и технологии производства высокоэффективных материалов для теплоизоляции трубопроводов на основе термореактивных смол и золы уноса теплоэлектростанций.

Задачи исследования:

1. Обоснование возможности использования зол уноса в качестве наполнителя и разработка рецептур композиций для производства вспененных теплоизоляционных материалов на основе фенолформальдегидных смол.

2. Изучение физико-химического взаимодействия наполнителей – зол уноса различного химического состава с термореактивными связующими при получении вспененных теплоизоляционных материалов.

3. Изучение кинетических особенностей пенообразования композиций с повышенным содержанием зол уноса и технологических параметров производства на их основе теплоизоляционных материалов.

4. Разработка промышленной технологии изготовления теплоизоляции для трубопроводов из композиционного материала на основе термореактивных смол и золы уноса.

5. Изучение структуры и свойств новых полимер-минеральных теплоизоляционных материалов.

6. Определение области потребления новых строительных теплоизоляционных материалов с учетом экономических показателей их производства (Анализ конкурентоспособности нового материала).

Объектом исследования являются полимерно-минеральные композиты (ПМК) на основе термореактивных олигомеров и зол уноса ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго».

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Установлено влияние качественных и количественных параметров состава зол уноса ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго» на процесс вспенивания фенолформальдегидной композиции: повышение содержания оксида кальция свыше 25% приводит к ингибированию процесса вспенивания, при этом обнаружено повышение содержания $\text{Ca}_9(\text{Al}_6\text{O}_{18})$ и SiO_2 .

2. Установлено, что при взаимодействии высококальциевых зол уноса ТЭЦ-6 и фенолформальдегидных смол образуются донорно-акцепторные связи между компонентами смеси, что приводит к образованию ряда новых химических соединений со связями Si-O, Si-C, Si-N.

3. Установлено, что введение смеси двух различных газообразователей – петролейных эфиров ПЭ (40-70) и ПЭ (70-100) с температурой кипения 40-70°C и 70-100°C приводит к двухступенчатому процессу пенообразования материала, что позволяет существенно увеличить кратность вспенивания массы и пористость материала.

4. Установлены технологические условия и параметры вспенивания разработанных полимерных композиций: введение золы уноса свыше 70 % ингибирует процесс вспенивания смеси; оптимальная температура смеси компонентов составляет 25 °C, период индукции составляет от 18 до 28 секунд.

5. Разработаны математические модели зависимостей: продолжительности пенообразования композиций от толщины заливаемого слоя смеси и кратности вспенивания от температуры и количества наполнителя – золы уноса, выраженные уравнениями регрессии.

6. Установлено влияние степени наполнения полимерной композиции золой уноса ТЭЦ-9 на структуру и теплопроводность вспененного материала: при наполнении 30 % масс. диаметр пор составляет 2–200 μm , при наполнении 30-35 % – 5–300 μm и при наполнении 40 % и выше преобладают мелкие поры до 15 μm , максимальный диаметр пор увеличивается до 400 μm , что приводит к улучшению теплозащитных свойств.

Методологической основой диссертационного исследования послужили основные положения строительного материаловедения в области полимерных композиционных материалов с учетом современных тенденций в части ресурсо- и энергосбережения. В процессе выполнения работы применялись методы исследований: гамма-спектрометрия и атомно-эмиссионная спектроскопия для изучения элементарного состава золы и образцов ПМК; микроскопия и рентгенофазовый анализ для исследования структуры материала; физико-механические испытания, определение пожаробезопасности и санитарно-гигиенических характеристик.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, а именно п. 7. «Разработка составов и принципов производства эффективных строительных материалов с использованием местного сырья и отходов промышленности».

Практическая ценность и реализация результатов исследования.

Получены составы строительных теплоизоляционных материалов повышенной огнестойкости с высокими физико-механическими характеристиками и низкой коррозионной активностью, основу которых составляет полимер-минеральная композиция на базе отходов теплоэнергетики (зол уноса), используемых как наполнитель, и смеси фенолформальдегидных смол различных марок в качестве связующего. Разработана и реализована в промышленных условиях заливочная технология изготовления теплоизоляционных материалов. Состав композиции защищен ноу-хау № 26.3-29.10/КТ ИрГТУ (ноу-хау 169, от 20.02.2014г.) «Композиция для получения теплоизоляционного материала».

В соответствии с разработанными техническими условиями (ТУ 5760-002-90978809-2013) на предприятии ООО "ЭкоСтройИнновации" г. Иркутска в промышленных условиях, изготовлена и испытана с положительным результатом опытная партия вспененного теплоизоляционного композиционного материала в объеме 50 м³.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсоэнергосбережение. Экологические чистые технологии», г. Иркутск 2012; на III Всероссийской научно-практической конференции «Жизненный цикл конструкционных материалов» г. Иркутск, 2012; на V-ой Международной научно-практической конференции «Ресурсоэнергосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве», г. Иркутск, 2012; на Всероссийской молодежной конференции «Химия поверхности и

нанотехнология», г. Казань, 2013; на Международном совещании «Плаксинские чтения – 2012», г. Верхняя Пышма; на 1-й Международной научно-практической конференции «Инновации в материаловедении и металлургии», г. Екатеринбург 2013; на Международной конференции «Современные тенденции развития химии и технологии полимерных материалов» г. Казань, 2013; на Международной конференции «The International Conference on the Transformation of Education», London, 2013 и др.

Публикации. Результаты работы отражены в 21 научной публикации общим объемом 8 п.л., из них 5 работы в изданиях перечня ВАК, лично автором – 2 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов и приложений, содержит 246 страниц текста, в том числе 37 рисунков, 55 таблиц, список литературы из 260 наименований.

Личный вклад автора. Формулировка цели и задач исследования, обзор научно-технической информации, выполнение экспериментальных и теоретических исследований по изучению состава и свойств вторичных ресурсов и разработке технологического процесса производства полимер-минеральных композитов, внедрение процесса получения составов композитов в производство, изучение физико-технических характеристик разработанных материалов строительного назначения, обсуждение результатов и формулировка выводов.

Во введении сформулирована проблема и обоснована актуальность проводимых исследований, приведена краткая характеристика научной новизны и практической значимости работы.

В первой главе произведен анализ требований, предъявляемых к теплоизоляционным материалам, используемым для изоляции трубопроводов, приведена классификация дисперсных наполнителей, используемых при производстве композиционных материалов. Проанализированы наиболее распространенные виды наполненных пенопластов, а также влияние наполнителей на их структуру и свойства.

Во второй главе обоснован выбор основных компонентов, использованных для производства полимер-минеральных композиций, произведен анализ возможности использования зол уноса при производстве теплоизоляционных материалов.

В третьей главе разработаны основы технологии производства материалов на основе композиции фенолформальдегидных смол, минерального наполнителя и дополнительных компонентов. Подобраны композиции на основе фенолформальдегидных (смола А, смола Б, Красфор РР-23) и карбамидоформальдегидной (КФ-МТ-15) смол, зол уноса (ТЭЦ-9, ТЭЦ-6, У-И ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго»), а так же активных вспомогательных компонентов (эмульгатор, газообразователь, отвердитель), и выявлены оптимальные составы материалов. Исследована возможность применения наполнителей различного химического состава и полимерного связующего. Представлены результаты

разработки и оптимизации технологии изготовления опытной партии композиционных материалов.

В четвертой главе представлены результаты изучения физико-технических характеристик теплоизоляционного материала из разработанной полимер-минеральной композиции. Произведены анализ состава композитов с различным содержанием наполнителя и оценка их воздействия на окружающую среду. Изучены структурные особенности полимер-минерального материала методом электронной микроскопии. Приведены результаты санитарно-эпидемиологического контроля, определения группы горючести, распространения пламени и токсичности материала.

Пятая глава посвящена маркетинговым исследованиям потенциального рынка разработанных материалов. Представлены их конкурентные преимущества по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами. Определены перспективы широкого спектра применения изделий из разработанного теплоизоляционного композита.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Установлено влияние качественных и количественных параметров состава зол уноса ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго» на процесс вспенивания фенолформальдегидной композиции: повышение содержания оксида кальция свыше 25 % приводит к ингибированию процесса вспенивания, при этом обнаружено повышение содержания $\text{Ca}_9(\text{Al}_6\text{O}_{18})$ и SiO_2 .

Разработаны составы и технология получения высоконаполненных золами уноса от сжигания угля на ТЭЦ-6, Усть-Илимской ТЭЦ (ЗУ УИ) и ТЭЦ-9 (ЗУ9) ОАО «Иркутскэнерго» теплоизоляционных композитов на основе фенолформальдегидных смол различных марок (смола А, смола Б, Красфор РF-23) и карбаминоформальдегидной смолы марки КФ-МТ-15 с добавлением катализатора (К), продукта ОП-10 в качестве поверхностно-активного вещества, отвердителей: гексаметиленetetрамина и ортофосфорной кислоты (ОФК), и газообразователя – петролейного эфира на базе бензиновых фракций 40–70 °С и 70–100 °С.

На основе экспериментальных данных были получены несколько типов теплоизоляционных материалов (таблица 1) с различной плотностью, теплопроводностью, а так же с разной кратностью вспенивания и периодом индукции (временем до начала вспенивания композиции).

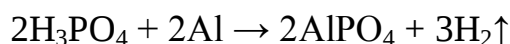
Таблица 1

Составы и характеристики композиций для производства теплоизоляционных материалов

	Состав композиции, %.										Кратность вспенивания	Период индукции
	Смола А	Смола Б	ЗУ УИ	ЗУ 9	К	КФ- МТ	ПЭ (40)	ПЭ (70)	ОФК	ОП- 10		
1	47,6	-	28,6	-	23,8	-	-	-	-	-	16-18	28
2	36,8	-	21,1	-	15,8	26,3	-	-	-	-	16-18	38
3	30,4	13	34,9	-	21,7	-	-	-	-	-	20-21	17
4	23,5	10	40,3	-	16,8	-	4,7	-	4,7	-	19-21	28
5	24,6	10,6	35,2	-	17,2	-	4,9	-	4,9	2	22-24	24

6	20,7	8,8	41,4	-	14,8	-	4,1	4,1	4,1	2	25-27	25
7	20,7	8,8	-	41,4	14,8	-	4,1	4,1	4,1	2	25-27	18

Материалы на основе данных композиций (таблица 1) представляют собой газонаполненные формованные изделия с закрытой мелкоячеистой структурой. Их получали методом заливки в открытые или закрытые формы, как в лабораторных, так и в промышленных условиях. При получении композитов смесь реагирующих компонентов в течение короткого времени переходит из жидкого в гелеобразное состояние и вспенивается с последующим отверждением образовавшегося пенопласта. Вспенивание сопровождается выделением большого количества энергии вследствие экзотермических реакций компонентов. Композиция вспенивается водородом, выделяющимся при реакции смеси кислот с алюминиевой пудрой, содержащейся в фенолформальдегидной смоле:



Оптимальная композиция, из которой в лабораторных условиях получен материал с наилучшей кратностью вспенивания (25–27 раз) и минимальным периодом индукции – 18 секунд (Смола А – 20,7 %; Смола Б – 8,8 %; К – 14,8 %; ЗУ9 – 41,4 %; ПЭ(40-70) – 4,1 %; ПЭ (70–100) – 4,1 %; ОФК – 4,1 %; ОП-10 – 2 %), была выбрана для выпуска опытной партии теплоизоляционного материала. Опытное производство организовано в условиях ООО «Экостройинновации», получено 50м³ теплоизоляции.

Рентгенофазовый анализ показал, что после смешивания золы уноса с фенолформальдегидной смолой А произошло изменение концентрации некоторых соединений в составе смеси, в частности содержание оксида кальция снизилось более чем в 3 раза, до 6,52 % (рисунок 1). Произошло увеличение концентрации SiO₂ до 34,5 %, Ca₉(Al₆O₁₈) – до 22 %.

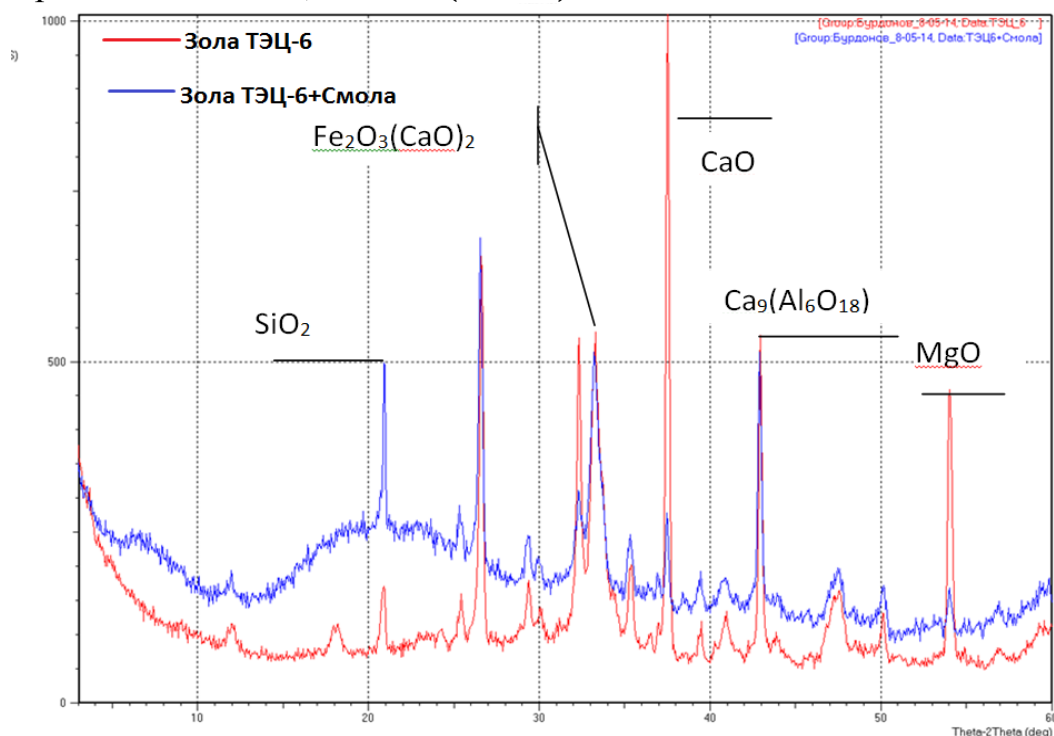


Рис. 1. Сравнение результатов рентгенофазового анализа золы уноса ТЭЦ-6 и смеси смолы с золой

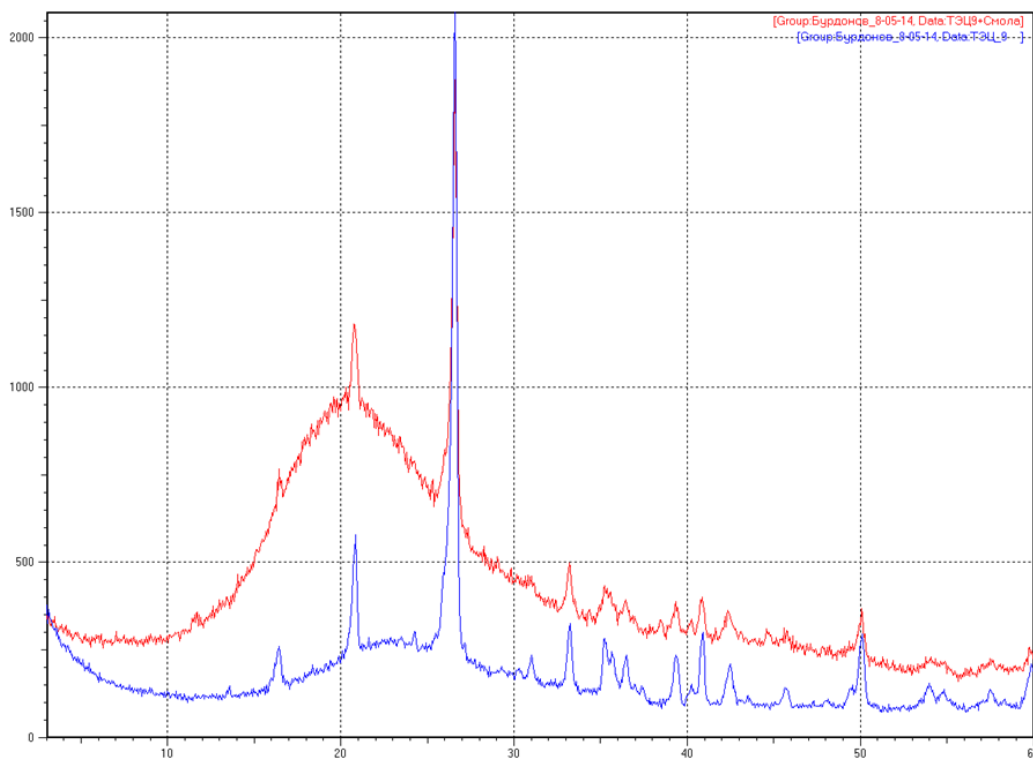


Рис. 2. Сравнение результатов рентгенофазового анализа золы уноса ТЭЦ-9 (синий) и смеси смолы с золой (красный)

Это можно объяснить тем, что при смешивании ФФС (рН 3,7) и золы уноса ТЭЦ-6 (рН 11,74) происходит нейтрализация смеси до рН 7,6. Это способствует выщелачиванию Са (экзотермическая реакция) с последующим увеличением доли содержания $\text{Ca}_9(\text{Al}_6\text{O}_{18})$, а так же SiO_2 в общей массе. Наблюдается ингибирование процесса вспенивания композиции, что влияет на скорость образования отвердевшей массы. Следовательно, золу уноса ТЭЦ-6 г. Братск ОАО «Иркутскэнерго» нецелесообразно использовать для производства теплоизоляционных материалов.

Результаты исследования показали, что повышение содержания оксида кальция в золе уноса приводит к экзотермической реакции и ингибированию процесса вспенивания: при увеличении содержания СаО с 2 до 10 % период индукции возрастает на 27 %, увеличение содержания СаО с 10 до 25 % приводит к отверждению полимера, что предотвращает процесс вспенивания композиции. Рентгенофазовый анализ показал, что использование золы уноса ТЭЦ-9 и Усть-Илимской ТЭЦ в смеси с фенолформальдегидной смолой не приводит к значительным изменениям состава.

2. Установлено, что при взаимодействии высококальциевых зол уноса ТЭЦ-6 и фенолформальдегидных смол образуются донорно-акцепторные связи между компонентами смеси, что приводит к образованию ряда новых химических соединений со связями Si-O, Si-C, Si-N.

Стоит отметить значительные различия в химическом составе зол уноса ТЭЦ -6 , ТЭЦ-9 и Усть-Илимской ТЭЦ. Так в золах уноса ТЭЦ-9 преобладает SiO_2 – 63,2 %, Al_2O_3 – 24,6 % и Fe_2O_3 – 5,7 %, Содержание оксида кальция в

золе не превышает 2,5 %. В золах уноса Усть-Илимской ТЭЦ преобладает SiO_2 – 54 %; Al_2O_3 – 25,5 % и Fe_2O_3 – 8,1 %. Содержание оксида кальция в золе не более 10 %. Золах уноса ТЭЦ-6: SiO_2 – 45,1 %, Al_2O_3 – 11,4 % и Fe_2O_3 – 9 %, Содержание оксида кальция в золе 25 %.

В ходе смешивания золы уноса ТЭЦ-6 и ФФС марки А происходит экзотермическая реакция, что указывает на взаимодействие компонентов смеси. Это подтверждается результатами ИК-спектроскопии (рисунки 3-4).

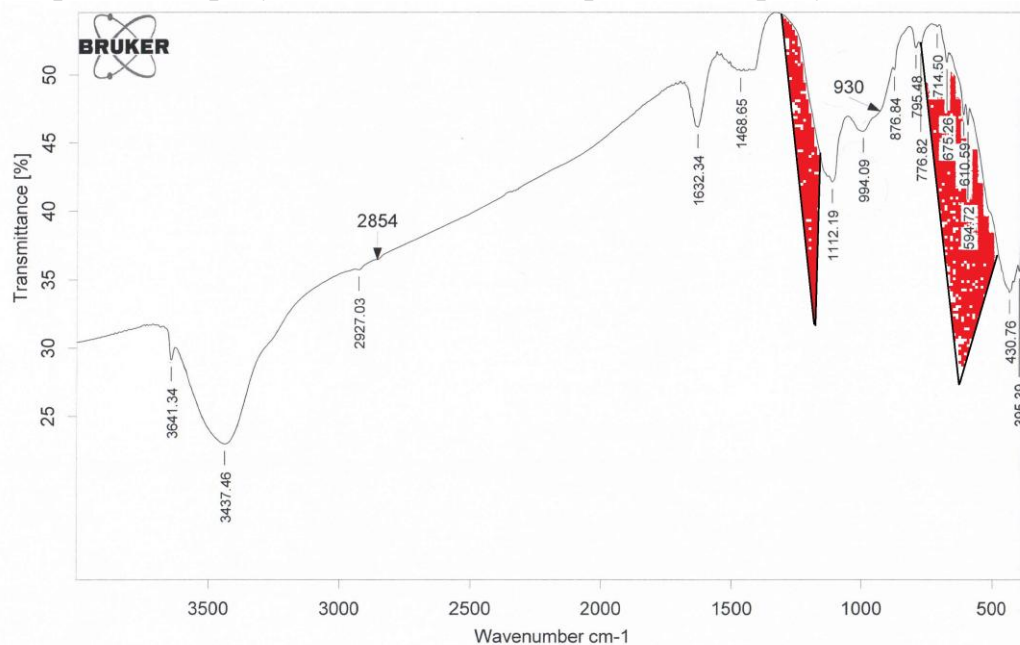


Рис. 3. ИК спектры зола уноса ТЭЦ-6 ОАО «Иркутскэнерго»

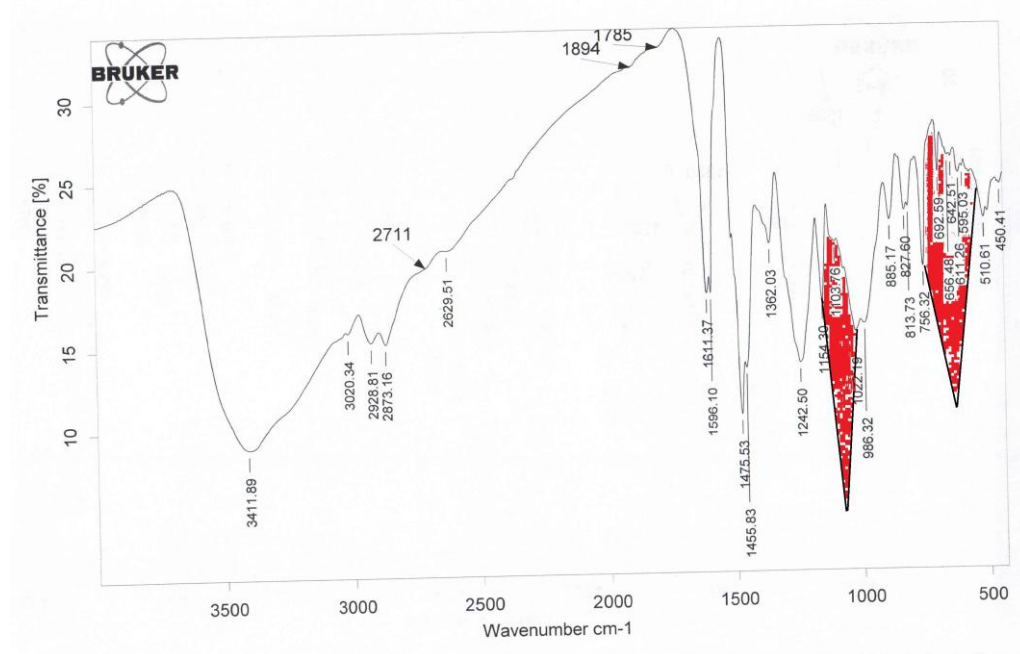


Рис. 4. ИК спектры смесь фенолформальдегидной смолы А и золы уноса ТЭЦ-6 ОАО «Иркутскэнерго»

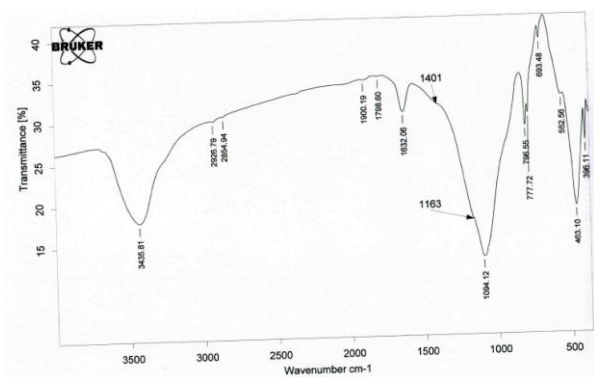


Рис. 5. ИК спектры зола уноса ТЭЦ-9 ОАО «Иркутскэнерго»

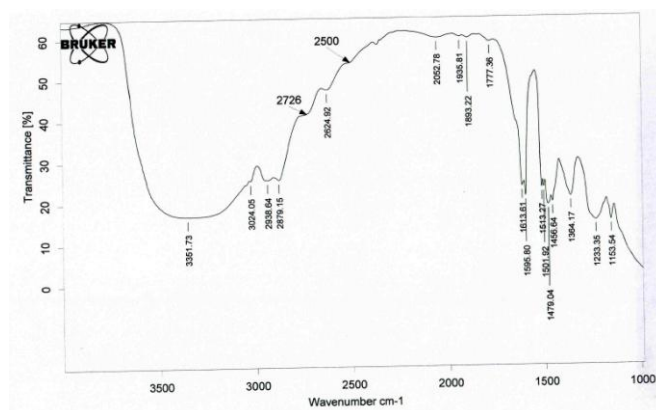


Рис. 6. ИК спектры смесь фенолформальдегидной смолы А и золы уноса ТЭЦ-9 ОАО «Иркутскэнерго»

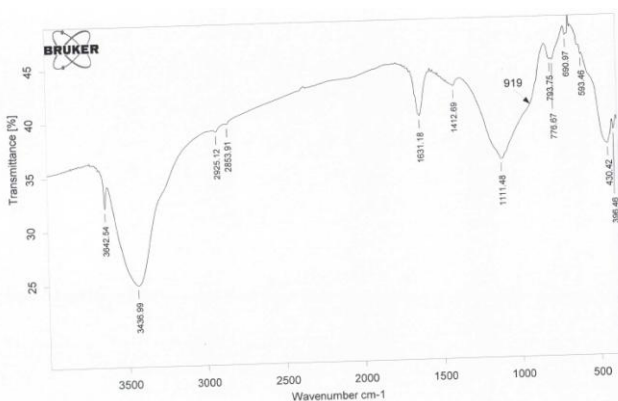


Рис. 7. ИК спектры зола уноса УИ ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго»

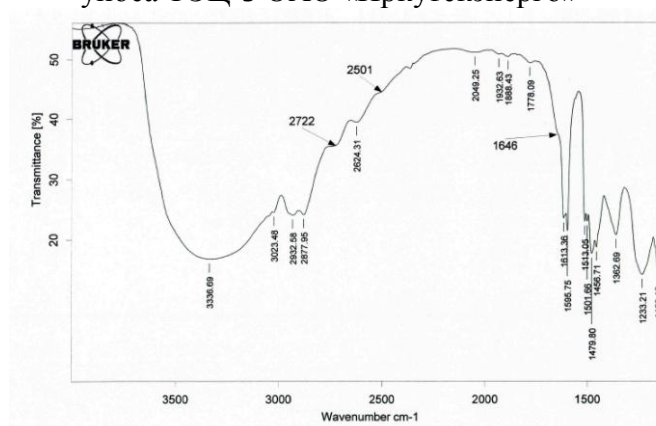
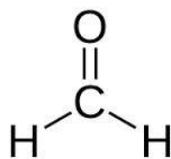


Рис. 8. ИК спектры смесь фенолформальдегидной смолы А и золы уноса УИ ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго»

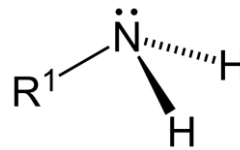
Как показывают данные ИК-спектроскопии, в результате смешивания золы уноса ТЭЦ-6 происходит образование новых связей с участием функциональных групп следующих соединений:



Фенол



Формальдегид



Первичный амин

Эти вещества, присутствуют в составе ФФС в виде примесей: массовая доля свободного фенола – 8–11 %, массовая доля свободного формальдегида – 2–3 %, амины – 1–2 %. Существует вероятность взаимодействия реакционноспособных центров с высокой электронной плотностью – π -электронной системой ароматических колец, не поделенной электронной парой (НЭП) атомов N и O с химическими компонентами в золе уноса. Происходит образование структур со связями Si-O, Si-C, Si-N, поскольку в ИКС регистрируются новые полосы в диапазоне 1154–1022 см^{-1} и 756–540 см^{-1} .

ИК-спектроскопия показала, что использование золы уноса ТЭЦ-9 и Усть-Илимской ТЭЦ в смеси с фенолформальдегидной смолой не приводит к значительным изменениям в составе и структуре смеси.

3. Установлено, что введение смеси двух различных газообразователей – петролейных эфиров ПЭ (40-70) и ПЭ (70-100) с температурой кипения 40-70 °С и 70-100 °С приводит к двуступенчатому процессу пенообразования материала, что позволяет существенно увеличить кратность вспенивания массы и пористость материала.

Жидкие физические газообразователи (легкокипящие жидкости) в наполненных композициях могут положительным образом влиять не только на процесс вспенивания смеси, но и улучшить однородность структуры пеноматериала. Задача сохранения высоких показателей кратности вспенивания при высоком наполнении композиции золой уноса является первостепенной.

В результате использования газообразователя – петролейного эфира 40/70 получен материал с большой кратностью вспенивания (25) и низкой плотностью (44 кг/м³). При добавлении петролейного эфира в объеме 4 % кратность вспенивания материала с содержанием золы уноса 33 % увеличивается с 20 до 25. Для увеличения кратности вспенивания и снижения плотности материала в композицию добавляется физический газообразователь с более высокой температурой кипения – петролейный эфир 70–100 °С, что позволяет получить дополнительный рост пены на конечной стадии вспенивания материала.

Физический газообразователь – петролейный эфир с температурой кипения 70-100 °С – увеличил кратность вспенивания композиции на 9 %. Композиция с содержанием наполнителя 41 % обладает мелкопористой однородной структурой, не имеющей разрывов и иных дефектов на поверхности материала. Установлено, что введение смеси двух различных газообразователей – петролейных эфиров ПЭ (40-70) и ПЭ (70-100) с температурой кипения 40-70 °С и 70-100 °С приводит к двуступенчатому процессу пенообразования материала, что позволило существенно увеличить кратность вспенивания массы и пористость материала.

4. Установлены технологические условия и параметры вспенивания разработанных полимерных композиций: введение золы уноса свыше 70 % ингибирует процесс вспенивания смеси; оптимальная температура смеси компонентов составляет 25 °С, период индукции составляет от 18 до 28 секунд.

В ходе проведения промышленных испытаний при заливке композиции в формы и плиты установлены зависимости времени пенообразования от толщины заливаемого слоя композиции (рисунок 9). Температура композиции является одним из важнейших факторов производства теплоизоляционного материала на основе смеси терморезактивных смол, золы уноса и различных аддитивов. На рисунке 10 представлена зависимость влияния температуры композиции на кратность ее вспенивания.

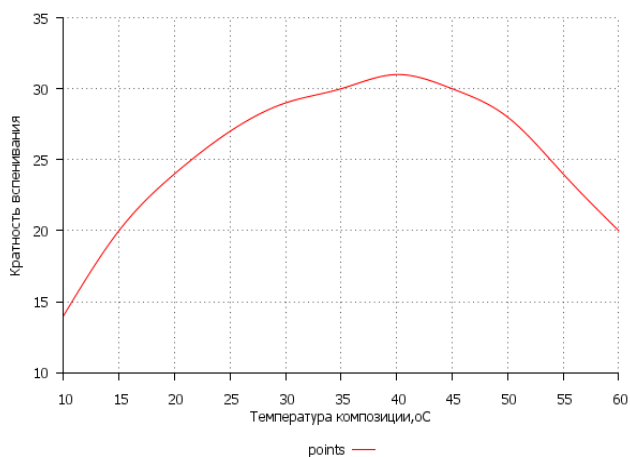


Рис. 9. Зависимость кратности вспенивания полимерно – минеральной композиции от ее начальной температуры

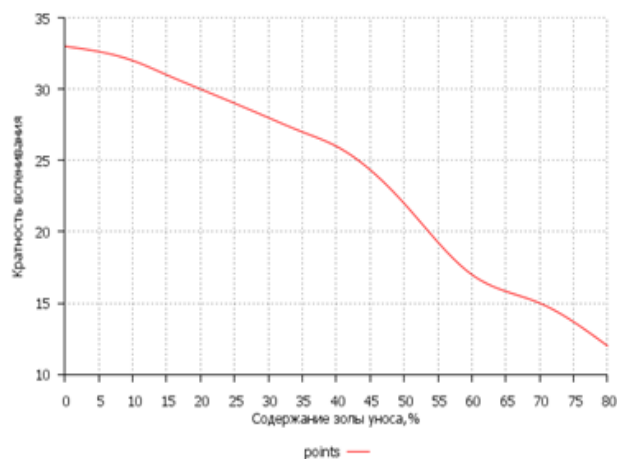


Рис. 10. Зависимость кратности вспенивания от содержания золы уноса

Анализируя данные (см. рис.9), можно сказать, что производство изделий на основе данной композиции при температуре ниже 10 °С из-за больших потерь тепла является экономически невыгодным. В температурном диапазоне от 10 до 30 °С кратность вспенивания возрастает значительно, в то время как кратность вспенивания при температуре от 31 до 40 °С возрастает менее активно.

Увеличение температуры композиции выше 40 °С уменьшает кратность вспенивания материала в среднем на 2 % на каждый градус нагрева смеси за счет увеличения скорости отверждения материала и повышения давления внутри газовых пузырьков.

На кратность вспенивания влияет содержание наполнителя (рисунок 10). Без использования золы композиция имеет кратность вспенивания 32–34. При содержании золы в композиции 60 % кратность вспенивания снижается в 2 раза и составляет 16–18. При этом материал приобретает высокие физико-механические характеристики (предел прочности при изгибе 0,7 МПа). При введении золы уноса свыше 70 % вспенивание не происходит, а образуется спекшаяся, очень прочная непористая масса, так как зола уноса смачивается полимером и значительная его часть не используется при вспенивании композиции.

На рисунках 11, 12 представлены зависимости периода индукции от содержания наполнителя в смеси и первоначальной температуры композиции.

Из полученных данных (рисунок 11) видно, что зола уноса Усть-Илимской ТЭЦ менее активная, чем зола ТЭЦ-9. Реакция с ней начинаются на 27 % раньше, чем при использовании золы уноса Усть-Илимской ТЭЦ. Данный факт обуславливает более высокая сорбционная способность наполнителя и различия в химическом составе золы.

На рисунке 12 представлена зависимость периода индукции от температуры композиции. Оптимальная температура полимерно-минеральной композиции составляет 20–25 °С, т.к. в данном температурном диапазоне обеспечивается синхронность процессов вспенивания и отверждения композиции.

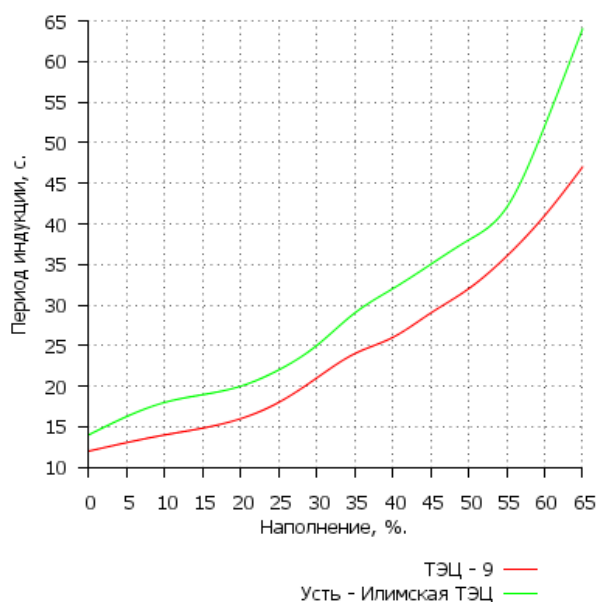


Рис. 11. Зависимость периода индукции от содержания наполнителя

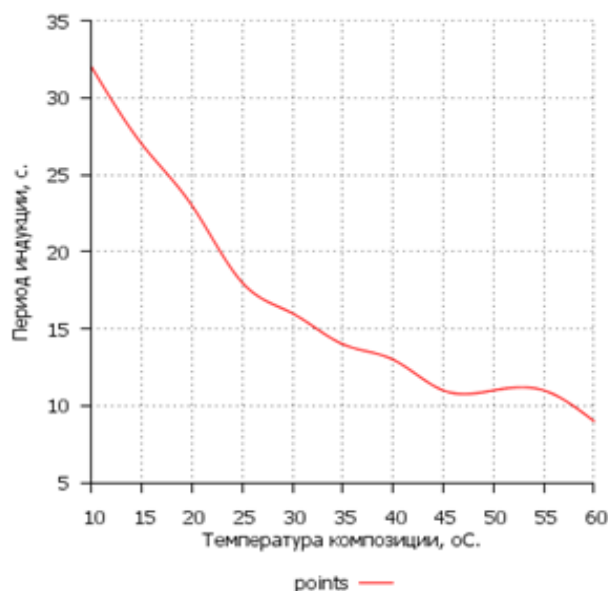


Рис. 12. Зависимость периода индукции от начальной температуры композиции

При увеличении температуры более 25 °С процесс пенообразования протекает очень быстро, что приводит к адиабатическому взрыву с сильным экзотермическим эффектом с образованием крупноячеистой структуры композита. Снижение температуры композиции ниже приведенных параметров также является неэффективным, поскольку значительно увеличивает период индукции смеси. Часть выделяющейся при экзотермической реакции энергии расходуется на нагрев композиции, что, в конечном счете, влияет на процесс ее получения, а именно на кратность вспенивания.

5. Разработаны математические модели зависимостей: продолжительности пенообразования композиций от толщины заливаемого слоя смеси и кратности вспенивания от температуры и количества наполнителя - золы уноса, выраженные уравнениями регрессии.

Во время вспенивания полимер-минеральной композиции выделяется большое количество тепла. Эффект вспенивания возрастает, если выделившееся тепло интенсивно не отводится стенками формы. Вследствие этого пеноматериалы, получаемые в формах из материала с низкой теплопроводностью (например, фанера), имеют меньшую плотность, чем материалы, получаемые в металлических формах.

Установлено, что чем больше отношение площади поверхности формы к ее объему, тем большую плотность имеет пенопласт. Для получения композита однородной равномерной структуры минимальная толщина заливаемого слоя в деревянную форму (удельная теплоемкость сосны 2,72 кДж/(кг·К)) должна составлять не менее 4 мм. Повышение толщины заливаемого слоя выше 20 мм в незначительной степени влияет на процесс вспенивания композиции, если площадь заливаемой поверхности не превышает 1 м². Математические модели зависимости продолжительности процесса вспенивания от толщины

заливаемого слоя полимер-минеральных композиций с использованием золы уноса ТЭЦ-9 (1) и с использованием золы уноса Усть-Илимской ТЭЦ (2) выражаются уравнениями регрессии:

$$t = -0,002n^3 + 0,2296n^2 - 2,1613n + 21,624 \quad (1)$$

$$t = -0,0026n^3 + 0,2916n^2 - 2,7449n + 27,463, \quad (2)$$

где t – продолжительность процесса вспенивания композиции, сек;
 n – толщина заливаемого слоя полимер-минеральной композиции, мм.

Полученные данные являются важным показателем при выборе наполнителя для промышленного производства изделий, поскольку определяют длительность технологического процесса их получения.

Одним из важнейших факторов производства теплоизоляционных материалов на основе смеси термореактивных смол, золы уноса и различных аддитивов является температура композиции.

Математические модели зависимости кратности вспенивания полимер-минеральных композиций от ее начальной температуры (3) и зависимости кратности вспенивания от содержания золы уноса (4) выражаются уравнениями регрессии:

$$r = 5E-07T^5 - 9E-05T^4 + 0,0064T^3 - 0,2222T^2 + 4,4285T - 13,636 \quad (3)$$

$$r = -0,0028x^2 - 0,0823x + 33,032, \quad (4)$$

где r – кратность вспенивания композиции; T – начальная температура композиции, °C; x – содержание золы уноса, %.

Полученные математические модели, можно использовать для регулирования процессов получения и свойств пеноматериала. Меняя температуру, можно регулировать кратность вспенивания материала, тем самым изменяя свойства получаемых теплоизоляционных материалов.

Как показала практика, на кратность вспенивания влияет не только температура композиции, но и содержание наполнителя, в данном случае золы уноса ТЭЦ-9.

Для придания композиту пористой структуры необходимо, чтобы во время вспенивания массы стенки ячеек пузырьков обладали необходимой прочностью и не разрушались под давлением расширяющихся газов, которое имеет прямую зависимость от температуры.

При увеличении концентрации золы уноса в композиции изменяется скорость реакции. В нашем случае зола уноса является ингибитором, препятствующим развитию цепной реакции. Математические модели зависимости периода индукции от содержания золы уноса ТЭЦ-9 (5) и золы уноса Усть-Илимской ТЭЦ (4) выражаются уравнениями регрессии:

$$P = -2E-06x^4 + 0,0002x^3 - 0,0027x^2 + 0,2019x + 11,953 \quad (5)$$

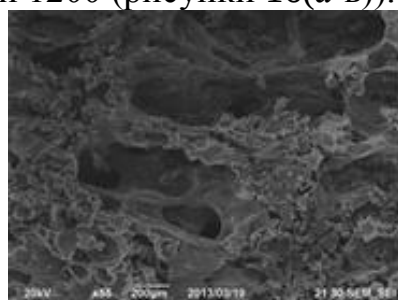
$$P = 3E-06x^4 + 0,0003x^3 - 0,0034x^2 + 0,2564x + 15,18, \quad (4)$$

где P – период индукции, сек; x – содержание золы уноса, %.

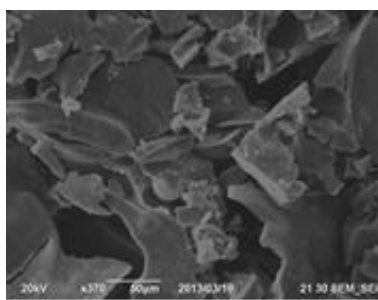
6. Установлено влияние степени наполнения полимерной композиции золой уноса ТЭЦ-9 на структуру и теплопроводность вспененного материала: при наполнении 30 % масс. диаметр пор

составляет 2–200 μm , при наполнении 30-35 % – 5–300 μm и при наполнении 40 % и выше преобладают мелкие поры до 15 μm , максимальный диаметр пор увеличивается до 400 μm , что приводит к улучшению теплозащитных свойств.

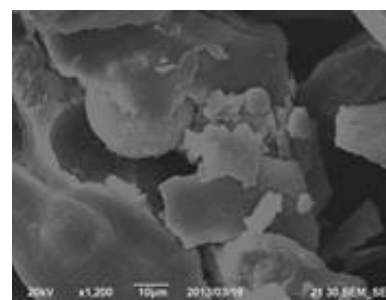
Структуру полученных теплоизоляционных материалов с содержанием золы уноса ТЭЦ-9 ОАО «Иркутскэнерго» 40, 35 и 30 % изучали методом электронной микроскопии на двухлучевом сканирующем микроскопе JIB-4500. при увеличении изображения в 50 раз (рисунки 14 (а-в)), 400 (рисунки 15(а-в)) и 1200 (рисунки 16(а-в)).



(а)

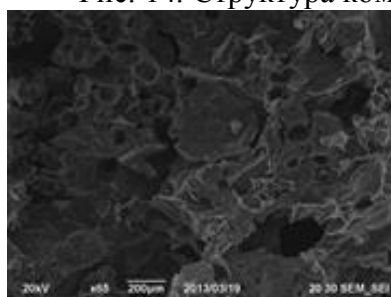


(б)

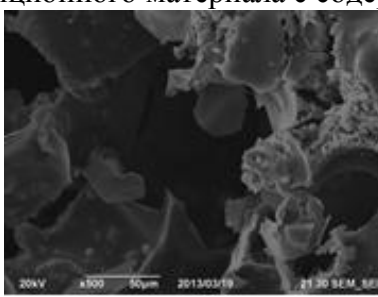


(в)

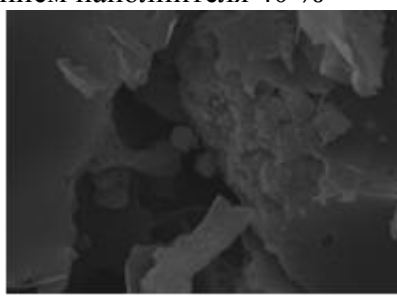
Рис. 14. Структура композиционного материала с содержанием наполнителя 40 %



(а)

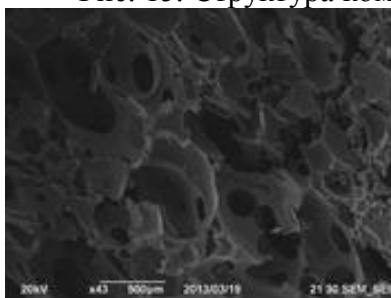


(б)

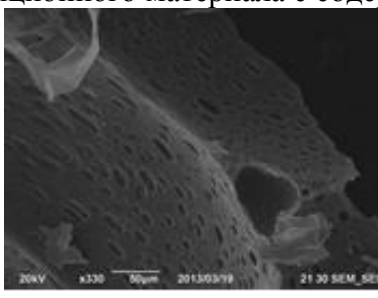


(в)

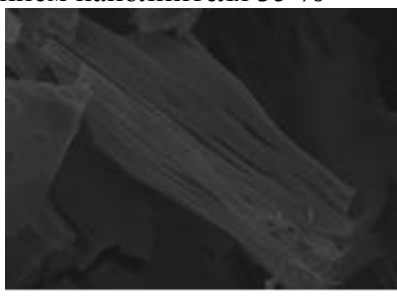
Рис. 15. Структура композиционного материала с содержанием наполнителя 35 %



(а)



(б)



(в)

Рис. 16. Структура композиционного материала с содержанием наполнителя 30 %

Все исследуемые образцы имеют пористую неравномерную структуру, с редкими вкраплениями наполнителя. Заметна практически идеальная сферическая форма частиц золы, что положительно сказывается на физико-механических характеристиках композитов. На снимках можно также наблюдать дефекты частиц золы и обломки больших сфер. Наличие в структуре мелких ячеек благоприятно влияет на теплоизоляционные свойства.

Структура композитов изменяется с увеличением количества наполнителя: чем больше количество золы уноса в материале, тем больше

поверхностных дефектов имеет композиция. В таблице 2 представлено описание структуры исследуемых композитов.

Таблица 2

Характеристики структуры композиционных материалов

Материал	Диаметр ячеек, μm	Структура материала
Наполнение 40 %	5–400	Сферические образования. Кристаллы неправильной формы сложены преимущественно небольшими листочками, чешуйками и сферами.
Наполнение 35 %	5–300	Поры округлых форм. Преобладают ломаные частицы неправильной формы разных размеров. Сложены мелкими зёрнами неправильной формы, иногда небольшими чешуйками или волокнами. Видны гроздевидные агрегаты, состоящие из мелких кристалликов.
Наполнение 30 %	2–200	Поверхность гладкая. Материал представлен в виде кристаллов различной формы, с круглыми и овальными порами различных размеров. Просматриваются хлопьевидные образования.

Видно, что более высокое наполнение композита приводит к образованию закрытоячеистой структуры материала, что положительным образом сказывается на эксплуатационных характеристиках материала.

Материалы имеют высокое наполнение, однако на снимках видна незначительная часть наполнителя. Часть золы уноса покрыта полимером, и взаимодействие системы «полимер – наполнитель» является достаточно сильным, поскольку излом материала проходит по поверхности полимера.

Стоит отметить, что при вспенивании в закрытой форме анизотропность макроструктуры получаемых композитов всегда ниже, чем при свободном вспенивании, и удлиненные ячейки наблюдаются только вблизи стенок форм.

Оптимальным по всем эксплуатационным показателям является вспененный теплоизоляционный материал, полученный при заливке в промышленных условиях, следующего состава: Смола А – 20,7 %; Смола Б – 8,8 %; ВАГ-3 – 14,8 %; ЗУ ТЭЦ-9 ОАО «Иркутскэнерго» – 41,4 %; ПЭ(40–70) – 4,1 %; ПЭ (70–100) – 4,1 %; ОФК – 4,1 %; ОП-10 – 2 %. Физико-механические, пожарные и санитарно-эпидемиологические характеристики материала представлены в таблице 3.

Таблица 3

Свойства вспененного теплоизоляционного материала

Измеряемый показатель	Показатель
Наполнение золой уноса, не менее %	40
Плотность, кг/м^3	80
Предел прочности при изгибе, МПа	0,619
Теплопроводность, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	0,0428
Сорбционное увлажнение, % по массе	13,13
Прочность на сжатие при 10 % деформации, МПа	0,19
Кислотное число, мг КОН/г	1,2
Линейная температура усадки при 110 °С в течении 20 час, %	-0,11
Средний размер пор, μm	28

Группа горючести	Г1
Группа воспламеняемости	В2
Дымообразующая способность	Д1
Показатель токсичности продуктов горения	Т2
Водородный показатель (рН)	6,73
Радиологические показатели, не более Бк/кг	370
Кратность вспенивания, не менее	25-27
Период индукции вспенивания, с.	18
Стоимость, руб/м ³	1000

Материал имеет низкую стоимость и хорошие физико-механические характеристики. К примеру, предел прочности при изгибе наполненного композита достигает 0,619 МПа. Введение в получаемую композицию наполнителя в виде золы уноса не только улучшает механические характеристики, но и значительно устраняет коррозионную активность композита.

Еще одним важным достоинством теплоизоляции является формостабильность материала. Линейная температура усадки при 110 °С в течении 20 часов составляет всего лишь 0,11 %, что так же положительно сказывается на эксплуатационных свойствах изделий.

Плотность разработанного материала можно варьировать от 30 до 340 кг/м³, и, следовательно, композит имеет широкий диапазон теплопроводности и прочности. Полученные данные позволяют говорить о возможности его безопасного применения в качестве современного утеплителя.

При использовании теплоизоляционных материалов важным аспектом, помимо физико-механических свойств, является экологическая безопасность композита. Основными макрокомпонентами в изучаемых композициях являются Fe, S, Ca и Al, содержание которых варьируется от 4 до 52 %, в зависимости от содержания наполнителя. Такие элементы как Cd, Co, Ni, Li и Sr обнаружены в незначительных концентрациях. Элементы Ta, Pt, Au, Te, Hg, Ir, Gd в пробах не обнаружены.

Определение подвижной формы необходимо для оценки миграционной способности элементов в объекты окружающей среды (таблица 4).

Таблица 4

Процентное содержание подвижной формы элементов в композиционных материалах с различной степенью наполнения относительно их валового значения

Композит	Содержание подвижной формы элементов, %												
	Ag	Ca	K	Mg	Mn	Na	P	S	Sb	Se	Si	Ti	V
Композит 25%	1,3	2,15	0,4	0,7	1,1	2,4	0,7	2,9	0,09	1,7	4	3,4	1
Композит 40%	0,7	2,8	0,3	1,4	1,4	2,1	0,8	3,6	0,11	1,7	1,7	2,8	1

После проведения отмывки подвижные формы многих элементов, включая тяжелые металлы, не были обнаружены, а у остальных обнаружены в крайне незначительном количестве. Это свидетельствует о прочной связи элементов в матрице полимер-минерального композита. Таким образом, негативное воздействие композита на окружающую среду минимизировано.

Проведены испытания материала на соответствие санитарно-гигиеническим требованиям: определена миграция химических веществ в

модельную среду (таблица 5) (воздушная среда, температура в камере 40 °С, время экспозиции 24 часа). –

Таблица 5

Концентрация химических веществ в модельной среде

Вещество	Концентрация мг/кг, не более
Акрилонитрил	0,03
Спирт изопропиловый	0,02
Толуол	0,3
Фенол	0,003

Определены радиологические показатели: эффективная удельная активность (Аэфф) естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) – не более 370 Бк/кг; органолептические показатели: запах образца в естественных условиях не более 2 баллов.

В результате исследований разработана технология введения золы уноса в полимерную композицию с целью улучшения его физико-механических, теплотехнических и экологических характеристик, а также расширения области применения теплоизоляционных материалов в строительной индустрии и других отраслях хозяйственной деятельности за счёт снижения их пожароопасности.

Общие выводы

В работе достигнуты следующие результаты:

На основании результатов выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований разработана полимер-минеральная композиция на основе смеси термореактивных смол и отходов теплоэнергетики (золы уноса ТЭЦ) и технология получения на ее основе теплоизоляционных материалов.

1. Получены новые вспененные теплоизоляционные материалы, имеющие различные технические и эксплуатационные характеристики. В качестве наполнителей полимерных композиций использовались три вида золы уноса ОАО «Иркутскэнерго» различного химического состава: Усть-Илимской ТЭЦ, ТЭЦ-9 (г. Ангарск) и ТЭЦ-6 (г. Братск), в качестве связующего – фенолформальдегидные смолы ФРВ-1А, ФРВ-ЭМ и Красфор РР-23.

2. В результате исследования выявлено влияние химического состава зол уноса на процесс получения и свойства вспененных теплоизоляционных материалов. При использовании золы уноса Усть-Илимской ТЭЦ с содержанием оксида кальция ~10 % было выявлено, что зола уноса влияет на скорость взаимодействия компонентов смеси, а так же, зола вступает в химическую реакцию с продуктом ВАГ-3. Выявлено влияние состава зол уноса на процесс вспенивания фенолформальдегидной композиции: повышение содержания оксида кальция свыше 25 % приводит к ингибированию процесса вспенивания, при этом обнаружено повышение содержания $\text{Ca}_9(\text{Al}_6\text{O}_{18})$ и SiO_2 .

3. Установлено, что при взаимодействии основно'й золы уноса ТЭЦ-6 и ФФС образуются донорно-акцепторные связи между компонентами смеси, что

приводит к образованию ряда новых химических соединений со связями Si-O, Si-C, Si-N.

4. Для улучшения теплотехнических свойств материала целесообразно использовать смеси различных по температурам кипения газообразователей – петролейных эфиров ПЭ (40–70) и ПЭ (70–100). Совместное использование данных компонентов приводит к двухступенчатому процессу пенообразования, что позволяет существенно увеличить кратность вспенивания массы и пористость материала: при наполнении композиции золой уноса до 40 % удалось достичь значения кратности вспенивания 25–27.

5. Установлены технологические условия и параметры вспенивания разработанных полимерных композиций: введение золы уноса свыше 70 % ингибирует процесс вспенивания смеси; оптимальная температура смеси компонентов составляет 25 °С, период индукции составляет от 18 до 28 секунд.

6. Выявлено, что структура пеноматериала изменяется с увеличением количества наполнителя. При увеличении содержания наполнителя выше 30 % наблюдаются псевдокристаллиты различной формы с круглыми и овальными порами различных размеров. В зависимости от содержания золы уноса в композиции диаметр ячеек меняется: при наполнении 30 % диаметр ячеек 2–200 мкм, 35 % – 5–300 мкм, 40 % – 5–400 мкм. Установлено, что чем больше количество золы уноса в материале, тем больше поверхностных дефектов имеет композиция. При этом высокое наполнение композита приводит к образованию закрытоячеистой структуры материала, что положительным образом сказывается на физико-механических характеристиках материала. Излом материала проходит по поверхности полимера, что указывает на сильное взаимодействие системы «полимер – наполнитель».

7. Исследования пожарной безопасности показали, что пенокомпозит, в соответствии с Федеральным законом 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (глава 3, статья 13), относится:

- к группе слабогорючих (Г1) при испытаниях по ГОСТ 30244-94;
- к группе умеренно воспламеняемых (В2) при испытаниях по ГОСТ 30402-96;
- к группе материалов с малой дымообразующей способностью (Д1) по ГОСТ 12.1.044-89;
- к классу умеренно опасных по показателю токсичности продуктов горения (Т2) при испытаниях по ГОСТ 12.1.044-89. Полученные данные позволяют говорить о возможности безопасного применения разработанного материала в качестве современного утеплителя для локальных и магистральных трубопроводов и тепловых сетей.

8. Полимер-минеральный теплоизоляционный материал соответствует требованиям СНиП 41-03-2003 по физико-механическим и теплотехническим характеристикам: плотность 32–120 кг/м³, теплопроводность 0,031–0,04 Вт/(м·К), сорбционное увлажнение 13,13 % по массе, кислотное число – 1,2 мг КОН/г. Линейная температура усадки при 110 °С в течении 20 час – 0,11 %,

прочность на сжатие при 10 % деформации – 0,214–0,595 кПа, разрушающее напряжение при сжатии – 0,12–0,2 кПа.

9. Анализ состава материала методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой показал, что содержание элементов подвижной формы не превышает установленные нормативы для строительных материалов. После проведения отмывки подвижные формы элементов, включая тяжелые металлы, не были обнаружены, у элементов Ag, Ca, K, Mg, Mn, Na, P, S, Sb, Se, Si, Ti, V они наблюдались в крайне незначительном количестве. Это свидетельствует о прочной связи основных элементов в матрице полимер-минерального композита. Таким образом, можно сделать вывод, что негативное воздействие пенокомпозита на объекты окружающей среды – минимально, и не имеет практического значения.

10. На основании результатов экспертизы и представленной документации, а также результатов лабораторных исследований, можно заключить, что теплоизоляционный материал на основе отходов теплоэнергетики может быть рекомендован не только для теплоизоляции трубопроводов, но также для утепления стен, теплоизоляции домов, внутренней изоляции помещений, а также может использоваться в бытовом строительстве для утепления и изоляции балконов, лоджий, подвалов и чердаков.

11. Средняя стоимость получаемого композита – 1000 рублей за кубический метр. Теплоизоляционный материал легко займет значительную часть рынка теплоизоляционных материалов (около 7 %), в частности для использования при прокладке тепловых сетей и теплоизоляции трубопроводов различного назначения. Данная цена обеспечит необходимый уровень рентабельности организации, что позволит ей сохранять хорошее финансовое положение и платежеспособность.

12. Разработана технологическая документация (ТУ 5760-002-90978809-2013, регламент) на производство полимерно-минерального теплоизоляционного материала, на основании которых на предприятии г. Иркутска (ООО "ЭкоСтройИнновации") осуществляется производство и успешное применение новых теплоизоляционных материалов. Зарегистрировано ноу-хау от 20.02.2014г. № 26.3-29.10/КТ (ноу-хау 169) «Композиция для получения теплоизоляционного материала».

III. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

публикации в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Бурдонов, А.Е.** Кинетические особенности вспенивания термореактивных полимеров при получении теплоизоляционных материалов в присутствии минерального наполнителя [Текст] / **А.Е. Бурдонов** // Инженерно-строительный журнал. 2014 г. – № 3 (47). – С. 9-16. (0,5 п.л.).

2. **Бурдонов, А.Е.** Экологическая оценка строительных композиционных материалов на основе термореактивных олигомеров и отходов ТЭС [Текст] / **А.Е. Бурдонов** // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014 г. – № 3 (86). – С. 85-90. (0,4 п.л.).

3. **Бурдонов, А.Е.** Физико-механические характеристики композиционных материалов на основе отходов производства с различными рецептурами [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, В.В. Барахтенко, Е.В. Зелинская [и др.] // Инженерно-строительный журнал. – 2012 г. – № 9(35) – С. 14-22. (0,6 / 0,1 п.л.).

4. **Бурдонов, А.Е.** Определение элементного состава композиционных материалов на основе промышленных отходов рентгенофлуоресцентным методом анализа [Текст] / Е.В. Зелинская, **А.Е. Бурдонов**, А.В. Бурдонова [и др.]. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013 г. – № 3. Нефть и газ. – С. 3-12. (0,62 / 0,1 п.л.).

5. **Бурдонов, А.Е.** К вопросу рециклинга золы уноса теплоэлектростанций [Электронный ресурс] / Е.В. Зелинская, Н.А. Толмачева, **А.Е. Бурдонов** [и др.]. // Современные проблемы науки и образования. – 2011 г. – №6; URL: www.science-education.ru/100-5017 (дата обращения: 25.05.2014). (0,3 / 0,08 п.л.).

публикации в других изданиях:

6. **Burdonov, A.E.** Technology of creation of modern building materials based on a joint recycling plastic and mineral waste. / **A.E.Burdonov**, V.V. Barahtenko, E.V. Zelinskaya // The International Conference on the Transformation of Education, – 22-23 april 2013, – London. P. 34-43. (0,6 / 0,02 п.л.).

7. **Бурдонов, А.Е.** Строительные материалы из отходов производства и потребления [Текст] / В.В. Барахтенко, **А.Е. Бурдонов**, С.А. Пронин, [и др.]. // Перспективы развития технологии, экологии и автоматизации химических, пищевых и металлургических производств: материалы науч. практ. конф., посвящ. 80-летию ИрГТУ и хим.-металлург. ф-та.–г. Иркутск, – 2010. – С. 222–225. (0,3 / 0,08 п.л.).

8. **Бурдонов, А.Е.** Золошлаковые отходы - сырьевая база для производства строительных материалов [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, К.И. Власова, А.В.Грумеза, [и др.]. // Перспективы развития технологии, экологии и автоматизации химических, пищевых и металлургических производств: материалы науч. практ. конф., посвящ. 80-летию ИрГТУ и хим.-металлург. ф-та.– г. Иркутск,– 2010. – С. 226–229. (0,2 / 0,03 п.л.).

9. **Бурдонов, А.Е.** Инновационный строительный материал пониженной горючести на основе полимерных и минеральных отходов [Текст] / Е.О. Сутурина, Е.В. Зелинская, **А.Е. Бурдонов** [и др.]. // Полимеры пониженной горючести: труды VI Международной конференции. – г. Вологда, – 2011. – С. 154-157. (0,2 / 0,06 п.л.).

10. **Бурдонов, А.Е.** Технология промышленного получения строительных и теплоизоляционных материалов нового поколения на основе утилизации крупнотоннажных промышленных отходов [Текст] / В.В. Барахтенко, Е.В. Зелинская, **А.Е. Бурдонов** [и др.]. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсоэнергосбережение, Экологические чистые технологии». – Электронный ресурс. – г. Иркутск, – 2011. – С. 34-35. (0,125 / 0,03 п.л.).

11. **Бурдонов, А.Е.** Утилизация крупнотоннажных отходов ТЭЦ и полимерной промышленности для производства отделочных и

теплоизоляционных материалов [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, В.В. Барахтенко // Материалы Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области химических наук и наук о материалах в рамках всероссийского фестиваля науки. – г. Казань, –2011– С. 19-24. (0,3 / 0,08 п.л.).

12. **Бурдонов, А.Е.** Утилизация техногенного сырья для производства теплоизоляционного материала [Текст] / Е.В. Зелинская, В.В. Барахтенко, **А.Е. Бурдонов**, [и др.]. // Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого и техногенного минерального сырья. // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения». – г. Верхняя Пышма, –2011 – С. 132-133. (0,125 / 0,03 п.л.).

13. **Бурдонов, А.Е.** Разработка техногенных месторождений отходов теплоэнергетического комплекса [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, В.В. Барахтенко, А.В. Бурдонова // Материалы Всероссийской научно-технической конференции с Международным участием «Геонауки - 60». Актуальные проблемы геологии, планетологии и геоэкологии. – г. Иркутск, –2012 г. – С.56-59. (0,25 / 0,08 п.л.).

14. **Бурдонов, А.Е.** Утилизация золы уноса ТЭЦ для производства огнестойких строительных отделочных и теплоизоляционных материалов [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, В.В. Барахтенко // Материалы Всероссийского конкурса научно – исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых по нескольким междисциплинарным направлениям. – г. Новочеркасск . – 2011 г. – С. 26-29. (0,25 / 0,125 п.л.).

15. **Бурдонов, А.Е.** Влияние золы уноса на физико-химические характеристики инновационного теплоизоляционного материала. [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, В.В. Барахтенко, Е.В. Зелинская // Материалы 1-й Международной интерактивной научно-практической конференции «Инновации в материаловедении и металлургии» – УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, – г.Екатеренбург, – 2011 г. – С.155-159. (0,3 / 0,08 п.л.).

16. **Burdonov, A.E.** New directions in waste management in the Baikal region. Okologische, Technologische und Rechtliche Aspekte der Lebensversorgung. / **A.E.Burdonov**, V.V.Barahtenko, E.V. Zelinskaya //– Germany, Hannover. – 2011. – P.127-128. (0,3 / 0,1 п.л.).

17. **Бурдонов, А.Е.** Перспективные композиты на основе отходов тэс и полимеров [Текст] / Е.О. Сутурина, В.В. Барахтенко, **А.Е. Бурдонов** [и др.]. // Материалы Международной молодежной конференции «Современные тенденции развития химии и технологии полимерных материалов». – г. Казань, – 2012 г. – С.216-222. (0,4 / 0,1 п.л.).

18. **Бурдонов, А.Е.** Применение микро- и наноконструктивных наполнителей для совершенствования свойств полимерных композитов. [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, В.В. Барахтенко, Е.О. Сутурина [и др.]. // Материалы Всероссийской молодежной конференции «Химия поверхности и нанотехнология» в рамках фестиваля науки». – г. Казань, 2012 г. – С.4-12. (0,6 / 0,2 п.л.).

19. **Бурдонов, А.Е.** Технология переработки поливинилхлорида с использованием микроструктурирующих добавок с целью создания

композиционных строительных композитов [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, А.В. Бурдонова, В.В. Барахтенко // Материалы Всерос. конкурса НИРС и аспирантов в области химических наук и наук о материалах. – г. Казань, – 2012.– С.128-129. (0,125 / 0,04 п.л.).

20. **Бурдонов, А.Е.** Изучение структуры теплоизоляционных материалов на основе отходов теплоэнергетики. [Текст] / **А.Е. Бурдонов, А.В. Бурдонова, В.В. Барахтенко** // Тезисы III Всероссийской научно-технической конференция с международным участием “Жизненный цикл конструкционных материалов” (от получения до утилизации). – г. Иркутск, –2013 г. – С. 87-92. (0,4 / 0,125 п.л.).

21. **Бурдонов, А.Е.** Теплоизоляционный материал на основе терморезактивных смол и отходов теплоэнергетики. [Текст] / **А.Е. Бурдонов**, В.В. Барахтенко, Е.В. Зелинская, [и др.]. // Материалы V-ой Международной научно-практической конференции “Ресурсоэнергосберегающие технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве”.– г. Иркутск, – 2013 г. (0,3 / 0,08 п.л.).