

Оценка эффективности работы климатической системы показала положительные результаты: температура на рабочем месте составила 296-298 К (23-25 °С); подвижность воздуха – 0,68-1,36 м/с; давление – 189 Па.

Список используемых источников:

1. Масленский В.В., Булыгин Ю.И., Щекина Е.В. Прогнозирование профессионального риска ущерба здоровью работающих в контакте с ведущими вредными факторами литейного производства // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов – Томск: Изд-во ТПУ, 2018. – С. 305–309.
2. Масленский В.В., Булыгин Ю.И. Установление класса условий труда оператора литейного мостового крана за счет моделирования полей теплового облучения и температуры // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – С. 176–179.
3. Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Масленский В.В. Расчет и выбор климатической системы для кабины зерноуборочного комбайна TORUM // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ-Принт, 2019. – С. 653–657.
4. Meskhi B.Ch., Bulygin Y.I., Shchekina E.V., Maslensky V.V. Elements of the normalization system of microclimate in the cabin of grain mandy combine TORUM // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – №. 403. – С. 012089.
5. Булыгин Ю.И., Щекина Е.В., Масленский В.В. Разработка элементов системы нормализации микроклимата в кабине зерноуборочного комбайна TORUM // Безопасность техногенных и природных систем. – 2019. – № 2. – С. 2–12.

#### РАЗРАБОТКА ОГНЕСТОЙКИХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ НАНОПОРОШКОМ ЖЕЛЕЗА И БОРНОЙ КИСЛОТОЙ

*О.Б. Назаренко, д.т.н., профессор, Д.С. Липчанский, аспирант*

*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск пр. Ленина 30*

*E-mail: Lipuchka18@mail.ru*

**Аннотация:** В докладе представлены результаты термогравиметрического анализа композитов на основе эпоксидной смолы, отвержденных с помощью полиэтиленполиамиона и содержащих в качестве наполнителей нанопорошок железа и порошок борной кислоты. Концентрация нанопорошка железа в эпоксидных композитах составляла от 2 до 15 %, борной кислоты – 10 %. Образцы нагревались до 900 °С в атмосфере воздуха. Исследование показало, что комбинация нанопорошка железа с порошком борной кислотой лучше всего замедляет процесс термоокислительной деструкции.

**Abstract:** The report presents the results thermogravimetric analysis composites epoxy resin based, cured with polyethylene polyamine and containing as fillers nanopowder of iron and boric acid. The concentration of iron nanopowder in epoxy composites ranged from 2 to 15%, boric acid - 10%. The samples were heated to 900 °C in the air atmosphere. The study showed that the combination of iron nanopowder with boric acid best slows down the process of thermal oxidative degradation.

**Ключевые слова:** Полимер, наполнитель, композит, эпоксидная смола, нанопорошок железа, термическая стабильность.

**Keyword:** Polymer, filler, composite, epoxy resin, iron nanopowders, thermal stability.

С каждым годом объемы производства, масштабы потребления и области применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) растут. Об этом свидетельствуют данные мирового рынка полимерных материалов. Так за 2011 год объем мирового рынка полимерных материалов составлял приблизительно 13 млн. тонн [1].

Китай (29 %), США (21 %) и Европейский Союз (15 %) являются основными производителями композитов. Статистика мирового потребления полимерных материалов и изделий на их основе показывает, что объем сосредоточен почти во всех отраслях промышленности [1]. На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы, на которых показаны области применения и объем мирового потребления ПКМ и изделий из них за 2010 и за 2019 года, соответственно.

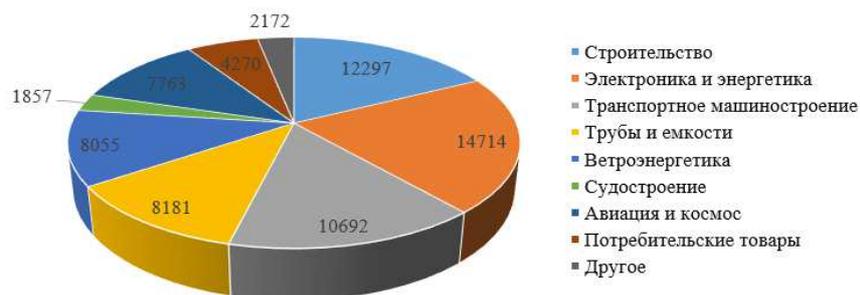


Рис. 1. Области применения и объем мирового потребления ПКМ и изделий из них за 2010 год

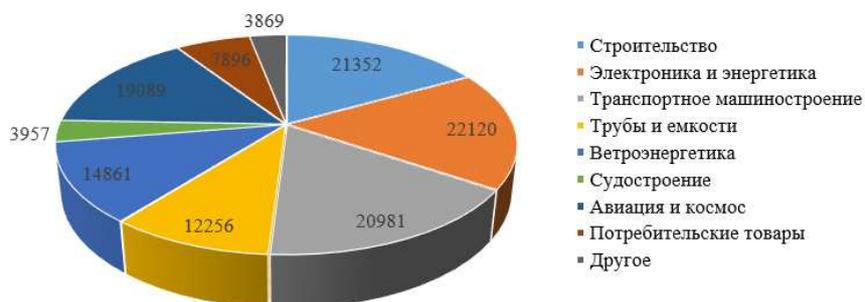


Рис. 2. Области применения и объем мирового потребления ПКМ и изделий из них за 2019 год

Традиционные материалы, такие как сталь, металл, железобетон и некоторые другие материалы, вытесняются из традиционных сфер их применения (строительство, транспортное машиностроение, авиастроение и т. д.) из-за высокого спроса на полимерные композиционные материалы. Причина заключается в том, что путем подбора состава и свойств компонентов можно, в зависимости от назначения, получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиционные материалы с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами, при этом сочетать в себе невысокую стоимость [2].

Для создания ПКМ используют различные связующие полимеры. На сегодняшний день существует два больших класса: термореактивные и термопластичные полимеры. Каждый класс имеет как положительные, так и отрицательные свойства [3]. Однако, наиболее распространенным связующим стала эпоксидная смола, которая относится к термореактивным полимерам. Такую известность эпоксидная смола получила благодаря таким характеристикам как механическая прочность, стойкость к истиранию, прочность при изгибе, высокая клеящая способность, высокая адгезия, легкость, невысокая цена и др. [4]. Можно отметить, что эпоксидная смола была впервые получена более 80 лет назад, но все еще остается одним из важнейших видов синтетических смол, используемых не только в промышленности, но и быту.

Однако обладая комплексом положительных свойств, полимеры имеют при этом недостатки, одним из них является повышенная горючесть и низкая термостойкость. При горении и тлении ПКМ образуется густой дым, выделяются токсичные газы, которые значительно увеличивают опасность при пожарах. Для современного материаловедения встала задача разработать и внедрить в производство эпоксидные композиционные материалы с пониженным уровнем пожарной опасности. Поскольку достичь полного исключения процесса горения органических полимеров невозможно, то, в свою очередь, важно снизить уровень горючести эпоксидных материалов, замедлить воспламеняемость, распространение пламени и т. д. [5].

Одним из способов направленного регулирования свойств полимеров является использование наполнителей, обладающих пламягасящими свойствами. Многие традиционные антипирены при горении способствуют образованию высокотоксичных веществ, что ограничивает их использование. Данную проблему могут решить наполнители в нанодисперсном состоянии [6-7]. В последнее время в качестве наполнителей стали использовать нанопорошки (НП) металлов. Наполнители в нанодисперсном состоянии улучшают термические, диэлектрические и механические свойства при добавле-

нии всего нескольких процентов от массы. С другой стороны, добавление некоторых видов наполнителей в полимеры способствует протеканию деструкционных процессов в материалах [8]. Поэтому актуальным является поиск и разработка экологически безопасных антипиренов, применение которых способствовало бы оптимизации комплекса характеристик полимерных композитов.

Целью данной работы является исследование термической стойкости эпоксидных композитов с наполнителями, в качестве которых использовали НП железа, полученный с помощью электрического взрыва железного проводника, а также комбинация НП железа с порошком борной кислоты. Наполнители вводились в эпоксидную смолу в различных процентных концентрациях.

Изучение термических характеристик эпоксидных композитов проводилось методом термогравиметрического (ТГ) анализа с помощью термоанализатора STA 449C Jupiter. Измерения проводили в интервале от 40 °С до 900 °С, со скоростью нагрева – 10 град./мин в атмосфере воздуха.

Метод термического анализа используется для оценки пожароопасных характеристик строительных материалов (теплофизических и термохимических характеристик процесса разложения) [9] и обладает такими достоинствами как получение одним методом нескольких пожароопасных характеристик материала, быстрое получение информативных сведений о свойствах материалов при нагревании, воспроизводимость и точность полученных результатов.

Основным материалов для создания композитов выступала эпоксидиановая смола марки ЭД-20, отвержденная с помощью полиэтиленполиамиона (ПЭПА). Для данной работы были изготовлены следующие образцы: E0 – эпоксидная смола, отвержденная без наполнителя, E/Fe2 – образец с концентрацией НП железа 2 мас. %, E/Fe5 – образец с концентрацией НП железа 5 мас.%, E/Fe10 – образец с концентрацией НП железа 10 мас. %, E/Fe15 – образец с концентрацией НП железа 15 мас. %, E/Fe5/B10 – образец с комбинацией 5 мас.% НП железа и 10 мас.% борной кислоты.

В таблице 1 и на рисунке 1 представлены результаты ТГ анализа образцов в атмосфере воздуха. В таблице 1 представлены значения  $T_5$ ,  $T_{10}$ ,  $T_{50}$ ,  $T_{90}$  – это температуры, при которых потеря массы составила 5, 10, 50, 90 %.

Таблица 1

Термические характеристики эпоксидных композитов					
Образец	$T_5$ , °С	$T_{10}$ , °С	$T_{50}$ , °С	$T_{90}$ , °С	Остаток при 600 °С, %
E0	267,5	283,4	419,3	538,6	0,3
E/Fe2	267	281,9	420,1	531,7	0,1
E/Fe5	284,1	286,2	431,8	537,8	4,2
E/Fe10	263,2	278,5	431,2	590,2	10,1
E/Fe15	262,5	282,6	437,9	-	17,7
E/Fe5/B10	260,4	292,2	488,9	-	20,6

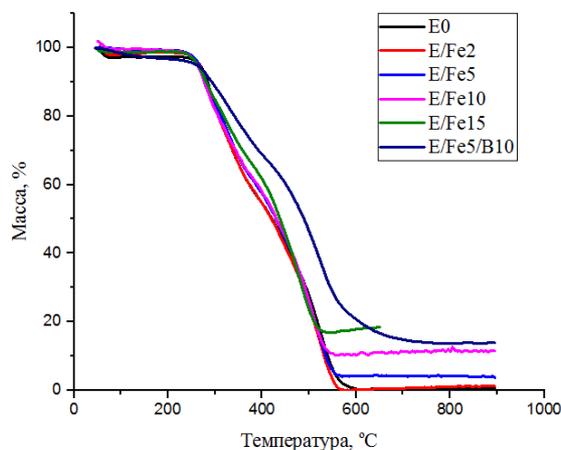


Рис. 1. Термогравиметрический анализ образцов

Согласно полученным данным, начальная температура разложения образцов при нагревании  $T_5$  была разной и зависела от процентного содержания наполнителя. Так, температура  $T_5$  для образца

(E0) незаполненного наполнителями составила 267,5 °С. Остальные значения  $T_5$  были разными, некоторые образцы ухудшали показатели, некоторые оставались на том же уровне, что и E0, но образец E/Fe5 показал увеличение температуры. По мере увеличения концентрации НП железа в эпоксидной смоле, происходили незначительные изменения в  $T_{10}$ . Значение  $T_{50}$  и  $T_{90}$ , а также остаточная масса при температуре 600 °С образцов E/Fe10 и E/Fe15 повысилась по сравнению с образцом E0. Образец E/Fe15 показал лучший результат по сравнению с другими образцами, заполненные НП железа. Наилучший результат был достигнут в образце E/Fe5/B10. На рисунке 1 и по данным таблицы 1 видно, что разрушение образца E/Fe5/B10 происходит более плавно по сравнению с другими образцами. Это объясняется тем, что борная кислота содержит кристаллизационную воду, которая при нагревании образцов высвобождается в эндотермическом процессе, что способствует разбавлению газообразных продуктов деструкции и снижает температуру полимера.

Таким образом, исследование показало, что НП железа начинает влиять на термическую стабильность эпоксидных композитов в процессе термоокислительной деструкции, если его концентрация будет составлять 5% и выше от массы полимера. Однако, НП железа становится более эффективным, если его комбинировать с замедлителями горения, например, с борной кислотой.

Список используемых источников:

1. Каблов Е.Н. Композиты сегодня и завтра. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://viam.ru/news/2108>.
2. Современные полимерные материалы: учебное пособие / М. В. Шишенок – Минск: Высшая школа, 2017. – 278 с.: ил., [4] л. цв. л.
3. Алентьев А.Ю., Яблокова М.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов [Текст]: учебное пособие / А.Ю. Алентьев, М.Ю. Яблокова. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010. – 69 с.
4. Мостовой А.С., Плакунова Е.В., Панова Л.Г. Модифицированные эпоксидные смолы как перспективные связующие полимерных композиционных материалов. Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2011, № 2, с. 34 - 37.
5. Берлин Ал. Ал. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 57–63.
6. Новиков Л.С., Воронина Е.Н. Перспективы применения наноматериалов в космической технике. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2008. – 188 с.
7. Ястребинский Р.Н., Соколенко И.В., Иваницкий Д.А., Матюхин П.В. Воздействие электронного излучения на термопластичный полимер // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-6. – С. 983–986.
8. Милинчук В.К., Клишпонт Э.Р., Тупиков В.И. Основы радиационной стойкости органических материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 256 с.
9. Молчадский О.И. Применение методов термического анализа для оценки пожарно-технических характеристик строительных материалов // Пожарная безопасность. – 2001. – № 4. – С. 31–36.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗА КАПЛЕЙ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ЕЕ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

*А.С. Наумкин, асп., Д.Ю. Мальшев, асп., Б.В. Борисов, к.ф.-м.н, проф.*

*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск, пр. Ленина 30, (3822) 56-37-87*

*E-mail: alexnaumsorg93@mail.ru*

**Аннотация:** В данной статье приведены результаты физических экспериментов при помещении капли промышленных отходов в поток воздуха с высокой температурой. Промышленные отходы рассматриваются как водо-этиловый раствор. Регистрация температуры произведена вдоль потока воздуха до и после капли на равноудаленном расстоянии. Получено изменение относительной температуры от времени за каплей раствора вдоль поступающего потока горячей газовой среды.

**Abstract:** This article presents the results of physical experiments when placing industrial solution drop in the high temperature air stream. Industrial solution was considered as water methanol solution. The temperature was recorded along the airflow before and after the drop at an equidistant distance. The change in relative temperature as a function of time per drop of solution along the oncoming flow of a hot gas medium is obtained.

**Ключевые слова:** утилизация, отходы, органические отходы, температурное поле

**Keyword:** influence, solution, organic solution, temperature field