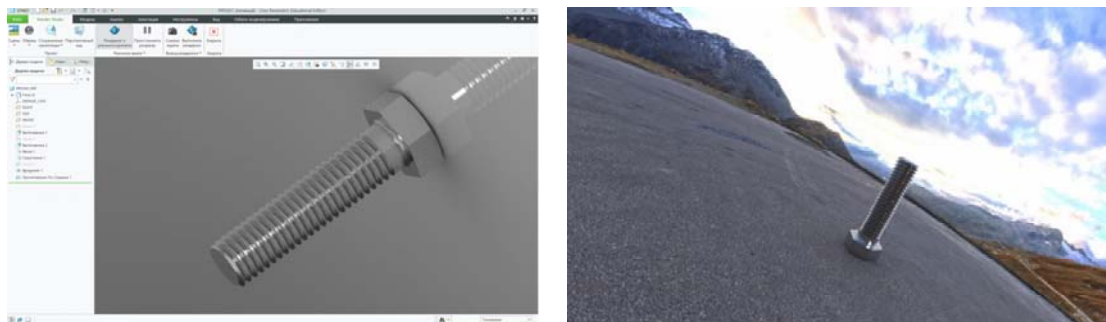


Так выглядит деталь, если на нее наложить материал. Присутствует шум, так как рендеринг происходит в реальном времени (рис. 4). Это сделано для меньшей нагрузки на систему при работе.



а)

б)

Рис. 4. Рендер в режиме реального времени (а), изображение с наложенной сценой (б)

В программе есть возможность выбора сцены, т. е. окружающего фона. В библиотеке сцен немного, но все же это программа не для дизайна, а для технических целей.

Для повышения производительности и качества работы в графических системах необходимо каждую из них использовать в тех областях промышленности, в которых они обеспечивают явное преимущество. В машиностроительной отрасли более выгодно применение САД-системы – Creo Parametric из-за ее возможностей сочетать в себе два подхода – параметрическое и прямое моделирование, удобства работы с небольшими приложениями, а также поддержки импорта форматов из САПР других производителей. Развитие такого инструмента, как рендеринг позволило сократить затраты труда и энергоресурсов, представить будущий объект еще на первоначальном этапе и даже заглянуть в космические дали — это многого стоит.

#### Л и т е р а т у р а

1. SolidWorks. – Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru>.
2. Компас 3D. – Режим доступа: <https://kompas.ru/>.
3. Пархоменко, А. В. Автоматизированное проектирование электронных средств в среде CREO и ALTIUM DESIGNER : учеб. пособие. – 2-е изд. / А. В. Пархоменко, А. В. Притула, В. М. Крищук. – Запорожье : Дикое поле, 2016. – 250 с.
4. Creo Parametric. – Режим доступа: [http://www.pro-technologies.ru/product/Creo\\_Parametric/](http://www.pro-technologies.ru/product/Creo_Parametric/).
5. Рендеринг. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Рендеринг>.

## СНИЖЕНИЕ ПОЖАРООПАСНОСТИ ПОЛИМЕРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В 3D-ТЕХНОЛОГИЯХ

А. Козлов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель С. Н. Бобрышева

В современных технологиях, в строительстве, автомобилестроении и многих других областях все больший удельный вес занимают изделия из полимерных материалов. В первую очередь это серийно производимые полимеры – полиэтилен (ПЭ),

полипропилен (ПП), полистирол (ПС), полиметилметакрилат (ПММА), поликарбонат (ПК), поливинилхлорид (ПВХ), каучук и разнообразные их смеси. Благодаря своим положительным физико-химическим и механическим свойствам полимеры и композиционные материалы на их основе все более активно применяются в аддитивных технологиях. В наиболее популярных 3D-технологиях (FDM, SL) полимеры используются в высокоэластическом или вязкотекучем состоянии при повышенных и высоких температурах. Так как полимерные материалы обладают такими свойствами, как воспламеняемость, горючесть, дымообразующая способность (дымообразование), токсичность продуктов тления и горения, то проблема снижения их пожароопасности не теряет своей актуальности.

Цель работы – анализ возможностей снижения пожароопасности наиболее распространенных полимерных материалов, используемых в 3D-технологиях.

В табл. 1 приведены пожароопасные характеристики полимерных материалов.

Таблица 1

### Пожароопасные характеристики полимерных материалов

Наиболее распространенные полимеры				
Название	$T_{\text{воспламенения, возгорания}}$	$T_{\text{самовоспламенения}}$	$T_{\text{разложения}}$	Токсичные продукты горения, разложения
ПЭ	306	417	120–130	Вода и углекислый газ
ПВХ	390	454–495	110–120	Хлористый водород, окись и двуокись углерода, фосген
ПС	484–496	Около 500	Свыше 300	Стирол, окись углерода, цианистый водород, акрилонитрил, дибутилфталат, фосген
ПУ	215	245	160	цианистый водород (синильная кислота), изоцианиды, окись и двуокись углерода, углеводорода
Применяемые в аддитивных технологиях полимеры				
ПК-12	500	Свыше 500	170	Едкий, вредный дым, выделение фенола
ПА 66	355	435	Свыше 200	Углекислый газ, угарный газ, амины, аммиак
ABS	300	395	200	Летучие органические испарения (ЛОВ), оксид углерода, циан водорода, хлористый водород, акролеин, окислы азота, различные алифатические и ароматические углеводороды
PLA	388	395	190	Оксид углерода, циан водорода, хлористый водород, акролеин, окислы азота, различные алифатические и ароматические углеводороды

Результаты анализа табл. 1 показывают, что существенным фактором, сдерживающим внедрения приведенных полимерных материалов в аддитивные технологии, является их пожарная опасность.

Природа большинства полимерных материалов такова, что невозможно сделать их полностью пожаробезопасными. Одним из наиболее действенных методов, снижающих горючесть и воспламеняемость полимеров, является применение антипиренов.

Антипирены должны соответствовать следующим требованиям:

- препятствовать горению материала;
- не проявлять токсичности при горении;
- не ухудшать функциональные характеристики материала.

В настоящее время существует ряд как органических, так и неорганических замедлителей горения, отличающихся областью применения, механизмом действия, совместимостью с полимером, токсичностью при горении, стоимостью, влиянием на функциональные свойства полимеров. Наиболее широкое применение нашли галоген-фосфорсодержащие антипирены для полимеров, применяемых в строительстве, медицине, электронике.

Эффективность их действия связывают со следующими факторами:

- специфическим влиянием фосфорных соединений на процессы, протекающие в конденсированной фазе при горении полимеров; при этом имеет место увеличения выхода нелетучего коксового остатка и уменьшение горючих продуктов пиролиза;
- образованием поверхностного стеклообразного или вязкого расплавленного слоя полиметафосфорной кислоты; этот слой служит физическим барьером для переноса тепла от пламени к полимеру и, как следствие, диффузии реагентов в сторону пламени;
- ингибированием газофазных реакций в пламени;
- влиянием на гетерогенное окисление карбонизованного продукта пиролиза полимеров.

Однако многочисленные достоинства таких антипиренов перекрываются одним большим недостатком – продукты их разложения являются очень токсичными.

Разумной альтернативой им может быть использование таких неорганических веществ, как гидроксида и карбоната магния, бората цинка и др. Большой эффект может быть получен введением наполнителя, разлагающегося с поглощением тепла. Классическим примером такого наполнителя является гидроксид алюминия  $Al(OH)_3$ : около 55–65 мас. %. В этом случае снижение горючести существенно зависит от соотношения теплопотерь на разложение наполнителя и всех других потерь тепла от пламени, которые всегда тем выше, чем больше общая теплота горения полимера.

Однако достижение огнезащитного эффекта обеспечивается при введении в полимер до 70 мас. % антипирена, что требует изменения технологии и ухудшает показатели качества материала.

В качестве антипиренов исследовалась возможность применения таких неорганических веществ, как модифицированные бентонитовые глины высокой дисперсности. Высокие дисперсность и поверхностная энергия вещества способствуют прививке функциональных групп, придающих ему необходимые свойства.

Для получения полимеров, с содержанием 1–5 мас. % антипирена, применялся экструзионный метод. Антипирен вводился на стадии расплава. Для исследования пожаробезопасных свойств применялся стандартный метод при помощи прибора ОТМ. О горючести материала судили по приращению температуры и потере массы испытательных образцов.

По значению максимального приращения температуры  $\Delta t_{\max}$  и потере массы  $\Delta m$  материалы классифицируют: на трудногорючие –  $\Delta t_{\max} < 60$  °С и  $\Delta m < 60$  %; горючие –  $\Delta t_{\max} \geq 60$  °С или  $\Delta m \geq 60$  %.

Горючие материалы подразделяют в зависимости от времени  $\tau$  достижения  $t_{\max}$ : на трудновоспламеняемые –  $\tau > 4$  мин; средней воспламеняемости –  $0,5 \leq \tau \leq 4$  мин; легковоспламеняемые –  $\tau < 0,5$  мин.

Для контроля сохранения основных свойств исследуемых полимеров измерялись и сравнивались их некоторые механические характеристики.

Таблица 2

## Сравнительные характеристики исследуемых полимерных материалов

Состав полимерного материала	Механические характеристики			Классификация материала по горючести
	Модуль упругости, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение при деформации, %	
Контрольный образец	26,74	18,2	274,48	Горючий, средневоспламеняемый
С антипиреном 1,5 %	148,28	31,85	103,3	Горючий, трудновоспламеняемый

Проведен анализ информации о теплофизических и пожароопасных характеристиках стандартных термопластов: полиамида, полиэтилена, полиметилметакрилата, полистирола, полипропилена, поликарбоната, полилактида PLA, ABS-пластика. Результаты показали, что применяемые на сегодняшний день серийные полимеры не могут справиться с большими температурными нагрузками, хотя и имеют большой спектр применений благодаря своим хорошим эксплуатационным свойствам. Новой альтернативой данным материалам выступают полимеры с добавками неорганических антипиренов, например, функционально модифицированных глин. На основе полученных результатов можно сделать вывод о перспективности разработанного антипирена и возможности его эффективного применения для повышения огнестойкости полимеров. Последние оказываются способными существенно расширить применение серийных полимеров, например, для печати на FDM-принтерах.

## Литература

1. Бобрышева, С. Н. Применение метода дисперсного анализа однофакторной математической модели для оптимизации состава полимеров с пониженной горючестью / С. Н. Бобрышева, Л. И. Буякевич, Д. Л. Подобед // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2019. – № 3. – С. 45–51.
2. Исмаилов, А. Полимерные антипирены / А. Исмаилов, Р. Исмаилов, 2015.
3. Бобрышев, С. Н. Снижение горючести полимерных материалов / С. Н. Бобрышев, М. В. Марченко, В. Б. Боднарк // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2008. – С. 181–184.