

УДК 504: 539.422.53
AGRIS P 01

<http://doi.org/10.5281/zenodo.2253234>

**АПРОБАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ
ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

©*Тукачева К. О.*, ORCID: 0000-0002-5800-7083, SPIN-код: 9637-2343,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия, ksyusha118@yandex.ru

©*Куликова Ю. В.*, ORCID: 0000-0002-0896-4571, SPIN-код: 6907-7280, канд. техн. наук,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия, kulikova.pnpu@gmail.com

©*Ильиных Г. В.*, ORCID: 0000-0002-8829-3500, SPIN-код: 2995-4576, канд. техн. наук,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия, galina.perm.59@yandex.ru

**APPROBATION OF VARIOUS REAGENTS
FOR CHEMICAL RECOVERY OF CARBON FIBER
FROM POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

©*Tukacheva K.*, ORCID: 0000-0002-5800-7083, SPIN-code: 9637-2343, Perm National Research
Polytechnic University, Perm, Russia, ksyusha118@yandex.ru

©*Kulikova Yu.*, ORCID: 0000-0002-0896-4571, SPIN-code: 6907-7280,
Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia, kulikova.pnpu@gmail.com

©*Ilinykh G.*, ORCID: 0000-0002-8829-3500, SPIN-code: 2995-4576, Perm National Research
Polytechnic University, Perm, Russia, galina.perm.59@yandex.ru

Аннотация. С ростом потребления изделий, произведенных из полимерных композиционных материалов, увеличивается и объем отходов, образующихся после окончания жизненного цикла таких изделий. Несмотря на то, что большая часть полимерных композиционных материалов производится с использованием стекловолокна, утилизация материалов на основе углеродного волокна более перспективна, так как углеродное волокно достаточно дорогостоящий материал. Технология извлечения углеродного волокна из отходов должна сопровождаться минимально возможной потерей его качественных характеристик, в первую очередь прочностных, для того, чтобы извлеченный материал можно было эффективно применять, например, для производства малонагруженных деталей или в качестве сырья для изготовления шумо-, термоизолирующих изделий. В рамках данной работы главной задачей являлась апробация различных реагентов для процесса утилизации полимерных композиционных материалов химическим методом. В работе описан процесс сольволиза, используемого для утилизации углепластиков, использованные реагенты и их комбинации и полученные результаты. Получение вторичного углеродного волокна и его применение приблизит отрасль композиционных материалов к выполнению принципов концепции безотходного производства.

Abstract. With the increase in consumption of products made from polymer composite materials, the volume of waste generated after the end of life cycle of such products increases. Despite the fact that most polymer composites are produced using fiberglass, recycling of carbon fiber reinforced materials is more promising, since carbon fiber is a rather expensive material.

The technology of carbon fiber recovery from waste must be accompanied by the minimum possible loss of its quality characteristics, primarily strength, so that the extracted material can be effectively used, for example, for the production of lightly loaded parts or as a raw material for the manufacture of noise-insulating products. Within the framework of this work, the main task was to test various reagents for the process of polymer composite materials recycling by a chemical method. The paper describes the process of solvolysis used for carbon plastics recycling, the reagents used, and their combinations and the results obtained. The production of recycled carbon fiber and its application will bring the composite materials industry closer to the principles of non-waste production.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, вторичная переработка, углеродное волокно, сольволиз, углепластик, утилизация, реагенты, технологические параметры, химическое извлечение.

Keywords: polymer composite material, recycling, carbon fiber, solvolysis, carbon fiber, recycling, reagents, technological parameters, chemical extraction.

Введение

Благодаря своим термостойким характеристикам, применение углепластиков в изделиях авиационной, военной и космической отрасли, в том числе в производстве деталей самолетов последнего поколения, набирает все большие обороты. С появлением и ростом объемов использования полимерных композиционных материалов (ПКМ) возникает проблема выбора методов и технологий их утилизации [1]. С учетом повышенных физико-механических характеристик ПКМ и их стойкости к внешним воздействиям окружающей среды, проблема их утилизации приобретает особую актуальность.

Изделия из ПКМ с истекшими сроками эксплуатации являются типичными образцами технических систем, при проектировании которых завершающая стадия «жизненного цикла», как правило, не рассматривалась, а их утилизация, в том числе с возвратом ресурсов в повторное использование, представляет сложную научно-техническую проблему [2]. В России на сегодняшний день отсутствуют промышленные технологии утилизации полимерных композиционных материалов, поэтому образующиеся отходы в полном объеме отправляются на захоронение. В европейских странах основной поток вышедших из употребления композитов дробится для получения наполнителей или сжигается в цементных печах. При реализации данных методов дорогостоящее углеродное волокно безвозвратно теряется [3].

Основной путь разрешения сложившейся проблемы утилизации ПКМ на нынешнем технологическом уровне – это утилизация отходов с целью извлечения армирующего волокна для его повторного использования. При этом извлекаются полезные продукты, которые в дальнейшем можно использовать в различных отраслях промышленности и снижается воздействие на окружающую среду. В настоящее время уделяется повышенное внимание технологиям утилизации полимерных композиционных материалов с извлечением вторичного углеродного волокна с повышенными механическими свойствами и высокой стоимостью [2].

В мире несколько десятков промышленных предприятий осуществляют процесс извлечения углеродных волокон из вышедших из эксплуатации композитных материалов, таких как детали самолетов. Значительную долю утилизируемых отходов композиционных

материалов занимают остатки препрегов, образующихся при производстве деталей методом выкладки [4].

Высокие энергозатраты, связанные с производством первичного углеродного волокна, обуславливают его высокую рыночную стоимость, которая в свою очередь создает потенциал для извлечения углеродного волокна из отходов и его вторичного применения. Значительно более низкое потребление электроэнергии при извлечении вторичного углеродного волокна в сравнении с производством первичного углеродного волокна обуславливают не только экономическую целесообразность данного процесса, но делает его более предпочтительным с экологической точки зрения [5-7].

Прочностные свойства вторичного углеродного волокна обычно на 10-20 % ниже по сравнению с первичным волокно, однако все еще более чем достаточны для многих направлений использования. Автомобилестроение на сегодняшний день рассматривается в качестве основного потребителя вторичного углеволокна. Благодаря использованию данного материала в конструкции автомобиля уменьшается вес конструкции, что приводит к увеличению мощности автомобиля и снижению затрат на топливо [8, 9]. Кроме того, возможны комбинации вторичного волокна с первичны, так углеродное волокно совместно с арамидным используются в изготовлении мотоэкипировки [10]. Так же углепластик широко применяется в качестве материала для изготовления спортивного инвентаря, так как обладает улучшенными характеристиками по сравнению с древесиной или металлами [11]. Еще одной областью использования вторичного углеродного волокна является строительство — при добавлении углеволокна в состав бетона смесь приобретает улучшенные физико-механические характеристики. Относительно недавно углеродные волокна стали использовать для изготовления войлока, который в свою очередь можно применять как в строительстве в качестве изолирующего материала, так и в виде фильтрационного адсорбирующего материала [11, 12].

Среди существующих методов утилизации ПКМ с извлечением вторичного углеродного волокна наиболее распространенными являются сольволиз и низкотемпературный каталитический пиролиз. Оба этих процесса позволяют выделить углеродные волокна, прочностные характеристики которых незначительно уступают первичному материалу. Методы термического разложения полимерной матрицы требуют достаточно высоких температур и связанных с этим затрат, а химические методы позволяют извлекать углеродное волокно при относительно невысоких температурах. Оценка технологических стадий процесса химического извлечения углеродного волокна из полимерных композиционных материалов и его влияния на окружающую среду показала его конкурентоспособность по сравнению с другими технологиями утилизации ПКМ [7, 8, 13].

Практика утилизации углеродных композиционных материалов с использованием химических методов основана на деполимеризации (химическом разрушении) связующего и высвобождении углеродного волокна. Среди химических методов самым перспективным является сольволиз. Сольволиз — это реакция обменного разложения между растворенным веществом и растворителем. В процессе сольволиза в качестве среды используются различные жидкости (сверхкритическая вода, спирты, органические растворители, неорганические кислоты) и создаются необходимые условия (температура, давление, присутствие катализаторов). Процесс сольволиза позволяет удалить до 90 % и более смолы, в результате чего образуются высвобожденное углеродное волокно и жидкая фракция.

В процессе утилизации ПКМ методом сольволиза главной особенностью является то, что волокно должно обладать химической инертностью к реагентам, поэтому утилизировать данным методом можно только углепластики и некоторые виды стеклопластиков. В силу

того, что наполнитель органопластиков сравнительно близок по химическим и физическим свойствам к полимерной матрице, органический наполнитель разрушается практически одновременно с полимерной матрицей, в связи с чем, метод сольволиза не применяется для органопластиков.

В данном исследовании был апробирован метод сольволиза для утилизации полимерных композиционных материалов на основе углеродного волокна путем экспериментального подбора реагентов и условий.

Материалы и методы

Комплекс лабораторных исследований по химическому освобождению армирующих материалов от полимерной матрицы включал в себя разработку составов растворителей и условий для наиболее эффективного извлечения углеродного волокна.

Исследования включали приготовление растворов в определенной концентрации с добавлением инициаторов (окислителей) и дальнейший нагрев образцов углепластиков, помещенных в раствор — под действием температуры и окислителей связующее в углепластике разрушается, а углеродное волокно высвобождается.

Лабораторные исследования включали в себя следующие этапы:

1. Подготовка образцов полимерных композиционных материалов

В качестве лабораторных образцов для экспериментальных исследований были использованы образцы отходов полимерных композиционных материалов, изготовленных на основе углеродной ткани методом прессования и вакуумирования. Марки образцов представлены в Таблице 1. Перед химическим разложением образцы отходов углепластика были разрезаны на блоки размерами 10 мм*10 мм*15 мм.

2. Взвешивание образцов

Перед началом процесса сольволиза исследуемые образцы высушивались до постоянной массы при температуре 105°C и взвешивались на лабораторных аналитических весах Adventurer AX324, Ohaus (дискретность измерения — 0,001 г.). Результаты взвешивания каждого образца фиксировались.

3. Приготовление растворов для сольволиза

Для разложения и деструкции связующего углепластиков в процессе химического разложения были приготовлены сольволизные растворы различного состава с отличающимся набором и содержанием компонентов. В качестве растворителей использовались неорганические кислоты, органические растворители, спирты. Дополнительно в некоторые растворы добавлялись катализаторы для ускорения скорости реакции разложения связующего.

4. Выдержка образцов углепластика в приготовленных растворах

Образцы углепластиков помещали в стеклянный кислотостойкий и термостойкий реактор и затем добавляли сольволизные растворы. Растворы с помещенными в них образцами подогревались до температуры кипения растворов и выдерживались при этой температуре на протяжении 2-3 ч при атмосферном давлении. Весь процесс осуществлялся в вытяжном шкафу для удаления образующихся газов.

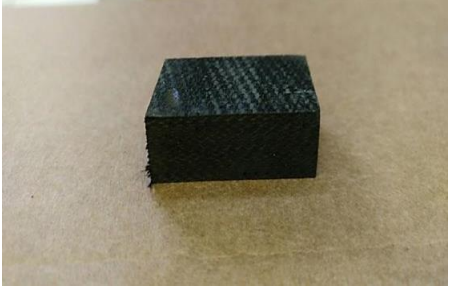


5. Промывка и высушивание полученного волокна

После завершения процесса сольволиза реакционную смесь охлаждали до комнатной температуры и фильтровали, тем самым отделяя нерастворимую фракцию. Образцы композиционных материалов или оставшиеся нерастворимые продукты разложения

(волокно) несколько раз промывали дистиллированной водой для удаления остатков кислоты, а так же других веществ, затем сушили до постоянной массы при температуре 105°C.

Таблица 1.

ПРИМЕРЫ ОБРАЗЦОВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ,
 ВЗЯТЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Марка образца	Описание	Образец углепластика
УТЗФ2УМН	Изготовлены на основе препрега из углеродной ткани Урал-Т-22Р-Эхо с фенолоформальдегидной смолой СФ-010, отверждение происходило постепенно при температурах выше 150° С и ориентировочном давлении 30-50 кгс/см ²	
УТ-900ПМ	Изготовлены на основе углеродной ткани УТ-900ПМ с эпоксидной смолой ЭДТ-10П по технологии вакуумного формования с отверждением при температурах выше 150°	
Porsher	Изготовлены на основе углеродной ткани Porsher с эпоксидной смолой ЭДТ-10П по технологии вакуумного формования с отверждением при температурах выше 150°	

6. Контроль изменения массы и оценка полноты процесса разложения связующего

После высушивания до постоянной массы проводилось взвешивание образцов углепластика. На основании разницы масс до и после сольволиза рассчитывалась потеря массы образцов, характеризующая степень разложения полимерной матрицы.

Результаты и их обсуждение

Данные, полученные по результатам исследования, позволили определить перспективные составы для химического извлечения углеродного волокна из полимерных композиционных материалов.

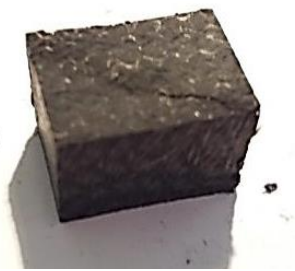
В Таблице 2 представлены результаты апробации различных составов растворителей для извлечения углеродного волокна из полимерных композиционных материалов в лабораторных условиях.

Результаты, представленные в Таблице 2, свидетельствуют о том, что при атмосферном давлении и относительно невысоких температурах (90-150 °С) воздействие на образцы ПКМ

щелочей, кислот и органических растворителей не приводило к каким-либо значимым разрушениям полимерной матрицы.

Таблица 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ СОЛЬВОЛИЗА
 ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Названия реагентов	Формулы используемых реагентов	Внешний вид образца ПКМ после сольволиза	Полученные результаты
Гидроксид натрия	NaOH		Разложение связующего отсутствует
Серная кислота	H ₂ SO ₄		
Азотная кислота	HNO ₃		
Дихромат калия	K ₂ Cr ₂ O ₇		
Оксид хрома (VI) с добавлением азотной кислоты	CrO ₃ + HNO ₃		
Толуол	C ₆ H ₅ CH ₃		
Ацетон	CH ₃ -C(O)-CH ₃		
Этилбензол	C ₈ H ₁₀		
Триэтаноламин	(C ₂ H ₄ OH) ₃ N		
Этиловый спирт	C ₂ H ₅ OH		
Диметилформамид	C ₃ H ₇ NO		
Растворитель № 648 ГОСТ 18188 (Состав: бутилацетат, этиловый спирт, бутиловый спирт, толуол)	C ₆ H ₁₂ O ₂ + C ₂ H ₅ OH + C ₄ H ₉ OH + C ₆ H ₅ CH ₃		
Серная кислота, оксид хрома (VI)	H ₂ SO ₄ + CrO ₃		
Серная кислота, перекись водорода	H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂		
Серная кислота, азотная кислота, перекись водорода	H ₂ SO ₄ + HNO ₃ + H ₂ O ₂		
Азотная кислота, перекись водорода	HNO ₃ + H ₂ O ₂		
Азотная кислота, ортофосфорная кислота, хромат калия	HNO ₃ + H ₃ PO ₄ + K ₂ CrO ₄		

Добавление в рецептурный состав кислой среды окислителя способствует ослаблению связей молекул связующего, что изначально приводит к поверхностному разрушению слоев композита, а с течением времени к полному разрушению матрицы и высвобождению углеродного волокна из образцов. Связующее, ввиду своей не инертности к некоторым апробированным составам, участвует в реакции деструкции, что приводит к разрыву связей и разрушению структуры макромолекул. Благодаря этому сетка синтетического полимера интенсивно разрушается, в результате чего значительно снижается молекулярная масса полимера, что способствует его переходу в растворимое состояние.

Таким образом, при определенных условиях и рецептурных составах растворителей процесс физико-химического высвобождения углеродного волокна может проходить при

относительно «мягких» условиях – при невысоких температурах и атмосферном давлении, что является несомненным плюсом в сравнении с процессами пиролиза или использованием сверхкритических жидкостей. Однако, применение агрессивных кислот и окислителей приводит к необходимости использования кислотостойкого оборудования для обеспечения безопасности и технологичности процесса. Кроме того, при оценке полученных результатов сольволиза при разных применяемых рецептурах необходимо учитывать также экологические аспекты. Так, некоторые используемые реагенты содержат токсичные вещества, в частности соединения шестивалентного хрома, которые обладают канцерогенным действием, что в дальнейшем создает проблему обращения с образующими вторичными отходами и сточными водами.

В связи с тем, что степень разложения связующего и высвобождение углеродных волокон зависит от соотношения и концентрации реагентов, времени воздействия и температуры дальнейшие исследования будут направлены на установление оптимальных технологических условий проведения процесса сольволиза и подборе наиболее подходящих реагентов как с точки зрения экономической целесообразности, так и с точки зрения экологической безопасности.

Выводы

1. Углеродное волокно является дорогостоящим сырьем, которое необходимо извлекать из вышедших из эксплуатации изделий и использовать повторно. В качестве метода утилизации полимерного композита с целью извлечения вторичного углеволокна был апробирован метод сольволиза. Экспериментальные исследования включали в себя подбор возможных реагентов и условий.

2. Главной особенностью выявленных условий химического разложения полимерной матрицы ПКМ является применение реагентов, являющихся источником активного кислорода, обеспечивающих полную деструкцию как эпоксидных, так и фенолформальдегидных смол.

3. Процесс разложения углепластика идет поэтапно, а именно, сначала происходит расщепление части полимерной матрицы с поверхностных слоев образца. Затем протекает деструкция межслойной полимерной матрицы, в результате чего на выходе высвобождается углеродный наполнитель, что в целом объясняется постепенным химическим разрушением смолы вследствие распада полимерных связей термопластичной полимерной матрицы. Таким образом, полнота разложения полимерной матрицы зависит от времени воздействия сольволизного раствора и первоначального размера частиц ПКМ — предварительное измельчение ускоряет высвобождение волокна.

4. Результаты проведенных экспериментальных исследований подтверждают перспективность процесса утилизации углепластиков методом сольволиза и возможность получения полезного продукта в виде вторичного углеродного волокна.

Результаты, представленные в статье, были получены в ходе выполнения государственного задания Министерства образования и науки РФ в рамках мероприятия «Инициативные научные проекты», код заявки 5.9729.2017/8.9.

Список литературы

1. Gosau J. M., Tyler F. W., Allred R. E. Carbon fiber reclamation from state-of-art 2nd generation aircraft composites // *Proceedings of the international SAMPE symposium and exhibition (ISSE 2009)*. 2009.
2. Бурдюгов С. И., Корепанов М. А., Кузнецов Н. П., Кургузкин М. Г., Мелешко В. Ю., Мокрушин Б. С., Поник А. Н. Тененев В. А., Тухватуллин З. А. Утилизация твердотопливных двигателей (РДТТ). Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. 512 с.
3. Vijay N., Rajkumara V, Bhattacharjee P. Assessment of Composite Waste Disposal in Aerospace Industries // *Procedia Environmental Sciences*. 2016. No 35. P. 63–570.
4. Oliveux G., Dandy LO., Leeke GA. Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties // *Progress in Materials Science* 2015. No 72. P. 61–99.
5. Yang Y, Boom R, Irion B, van Heerden DJ, Kuiper P, de Wit H. Recycling of composite materials. // *Chem Eng Process*. 2012. No 51. P. 53–68.
6. Петров А. В., Дориомедов М. С., Скрипачев С. Ю. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2015. №12. С. 12.
7. Gosau J. M., Wesley T. F., Allred R. E. Integrated composite recycling process // *38th SAMPE fall technical conference: Global advances in materials and process engineering*. 2006.
8. Куликова Ю. В., Тукачева К. О. Анализ технологий утилизации полимерных композиционных материалов // *Вестник ПНИПУ. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2017. № 4 (24). С. 103-122.
9. UMATEX Group. Отрасли применения. Режим доступа: <https://goo.gl/RLD5EQ> (дата обращения: 13.11.2018).
10. UMATEX Group. Спорт. Режим доступа: <https://goo.gl/VTLCk5> (дата обращения: 18.02.2018).
11. UMATEX Group. Атомная промышленность. Режим доступа: <https://goo.gl/mVBxL7> (дата обращения: 18.02.2018).
12. Углеродный войлок. Режим доступа: <https://goo.gl/rZrgp2> (дата обращения: 13.11.2018).
13. Keith M. J., Oliveux G, Leeke G. A. Optimisation of solvolysis for recycling carbon fibre reinforced composites. ECCM17 - 17th European Conference on Composite Materials, Munich, Germany, 26-30th June 2016.

References:

1. Gosau, J. M., Tyler, F. W., & Allred, R. E. (2009, May). Carbon fiber reclamation from state-of-art 2nd generation aircraft composites. *In Proceedings of the international SAMPE symposium and exhibition (ISSE 2009)*.
2. Burdyugov, S. I., Korepanov, M. A., Kuznetsov, N. P., Kurguzkin, M. G., Meleshko, V. Yu., Mokrushin, B. S., Ponik, A. N. Tenenev, V. A., & Tukhvatullin, Z. A. (2008). *Utilizatsiya tverdotoplivnykh dvigatelei (RDTT)*. Moskva-Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy, NITs Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika, 512. (in Russian).
3. Vijay, N., Rajkumara, V., & Bhattacharjee, P. (2016). Assessment of Composite Waste Disposal in Aerospace Industries. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 563-570.
4. Oliveux, G., Dandy, L. O., & Leeke, G. A. (2015). Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties. *Progress in Materials Science*, 72, 61-99.

5. Yang, Y., Boom, R., Irion, B., van Heerden, D. J., Kuiper, P., & de Wit, H. (2012). Recycling of composite materials. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 51, 53-68.
6. Petrov, A. V., Doriomedov, M. S., & Skripachev, S. Yu. (2015). Foreign experience of manufacturing products using recycled polymer composites (review). *All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials*, (12). 12. (in Russian).
7. Gosau, J. M., Wesley, T. F., & Allred, R. E. (2006, November). Integrated composite recycling process. In *38th SAMPE fall technical conference: Global advances in materials and process engineering*.
8. Kulikova, Yu. V., & Tukacheva, K. O. (2017). Analysis of recycling technologies of polymer composite materials. *About this journal transport. Transport facilities. Ecology*, 4 (24). 103-122 (in Russian).
9. UMATEX Group. Otrastli primeneniya. Rezhim dostupa: <https://goo.gl/RLD5EQ> (data obrashcheniya: 13.11.2018).
10. UMATEX Group. Sport. Rezhim dostupa: <https://goo.gl/VTLCK5> (data obrashcheniya: 18.02.2018).
11. UMATEX Group. Atomnaya promyshlennost'. Rezhim dostupa: <https://goo.gl/mVBxL7> (data obrashcheniya: 18.02.2018).
12. Uglerodnyi volok. Rezhim dostupa: <https://goo.gl/rZrgp2> (data obrashcheniya: 13.11.2018). (in Russian).
13. Keith, M. J., Oliveux, G., & Leeke, G. A. (2016). Optimisation of solvolysis for recycling carbon fibre reinforced composites.

Работа поступила
в редакцию 25.11.2018 г.

Принята к публикации
28.11.2018 г.

Ссылка для цитирования:

Тукачева К. О., Куликова Ю. В., Ильиных Г. В. Апробация различных реагентов для химического извлечения углеродного волокна из полимерных композиционных материалов // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №12. С. 42-50. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/12-72> (дата обращения 15.12.2018).

Cite as (APA):

Tukacheva, K., Kulikova, Yu., & Ilinykh, G. (2018). Approbation of various reagents for chemical recovery of carbon fiber from polymer composite materials. *Bulletin of Science and Practice*, 4(12), 42-50. (in Russian).