

УДК 678

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ**

**Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С.**  
*ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

Данная статья представляет собой обзор применяемых в настоящее время методов смешивания полимерных связующих с наполнителями, методов пропитки наполнителей полимерными связующими и методов получения изделий из полимерных композиционных смесей. Отдельно приведена общая информация по получению и применению композиционных полуфабрикатов в виде премиксов и препрегов, которые позволяют сократить время цикла получения изделий, понизить трудоемкость и энергоемкость основного производства. Представлена общая информация об основных методах формования изделий из предварительно подготовленных или полученных непосредственно перед формованием полимерных композиционных материалов при помощи различного рода формирующих оснасток под действием температуры, давления и времени. К рассмотренным методам относятся литье под давлением, экструзия, штранг-прессование, вальцевание и каландрование, вибропрессование и вибролитье, контактное формование, центробежное формование, вакуумная инфузия, автоклавное формование, намотка, пултрузия, прессование, инъекция и свободное литье. Также приведены сведения о конфигурации получаемых с помощью рассматриваемых способов формования изделий и дана характеристика факторов, от которых зависит применение одного из способов формования. Представленная информация позволяет оценить многообразие применяемых в современных производственных процессах методов, которые обеспечивают переработку используемых в настоящее время наполнителей и связующих в изделия заданных форм и размеров с требуемыми свойствами.

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, премикс, препрег, связующее, наполнитель, гелькоут, смешивание, пластикация, вязкотекучее состояние, формование, отверждение, охлаждение

**MODERN METHODS OF PREPARATION POLYMER COMPOSITE MATERIALS AND PRODUCTS FROM THEM**

**Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S.**  
*Federal Educational Institution of Higher Education Vladimir State University of a name of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs, Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

This article presents a review of the currently used methods of mixing polymer binders with fillers, methods of impregnation of fillers with polymer binders and methods for producing products from polymer composite mixtures. General information on the production and use of composite semi-finished products in the form of premix and prepregs is given separately, which allow to reduce the cycle time of obtaining products, reduce the labor intensity and energy capacity of the main production. General information on the main methods of forming products from preprepared or obtained directly before the formation of polymer composite materials with the help of various types of forming equipment under the action of temperature, pressure and time is presented. The methods considered include injection molding, extrusion, extrusion-pressing, rolling and calendering, vibrocompression and vibrating casting, contact molding, rotation molding, vacuum infusion, autoclave molding, winding, pultrusion, compression molding, resin transfer molding and cast molding. Also provides information about the configuration obtained by the methods of molding products and the characteristic of the factors on which the use of one of the methods of molding. Provides information allows us to estimate the diversity of the used in modern production processes, the methods that provide the processing of the currently used fillers and binders in products of specified shapes and sizes with desired properties.

**Keywords:** polymer composite materials, matrix, prepreg, binder, filler, gelcoat, mixing, plasticization, viscous-flow state, molding, curing, cooling down

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) являются одними из самых востребованных материалов во многих отраслях человеческой деятельности и с каждым годом сферы их применения расширяются, а объемы производства увеличиваются. Наиболее широко ПКМ применяются в строительной индустрии, в производстве корпусов в судо-, авиа- и автомобилестроении, а также в производстве конструкционных, фрикционных и антифрикционных деталей [1–4]. Это связано

с тем, что, с одной стороны эти материалы сочетают в себе легкость, высокие механические свойства, химическую стойкость и водостойкость, а с другой стороны, существует большое разнообразие видов ПКМ, отличающихся по своим свойствам, что позволяет подбирать оптимальный композиционный материал под конкретные условия эксплуатации [4, 5].

Еще одним важным преимуществом ПКМ является возможность разработки новых и совершенствования уже существующих

ющих композиционных материалов, что дополнительно расширяет возможности их применения и повышает их конкурентоспособность с другими материалами, усиливает их преимущества и снижает недостатки, к которым относятся сравнительно низкая термостойкость, горючесть и явление старения полимерных связующих под действием ультрафиолетового света и других факторов окружающей среды.

Разнообразие видов ПКМ, изменение комплекса их свойств в широких пределах, возможности модификации состава и структуры связаны с тем, что для их получения в качестве связующих используются практически все известные термопласты и реактопласты [6–10], а также большое количество разнообразных материалов и веществ, которые используются в качестве наполнителей в виде дисперсного порошка, волокон, тканых, нетканых, листовых и пористых объемных материалов [10–12]. Стоит отметить, что в строительной индустрии наряду с первичными материалами в качестве связующих и наполнителей для получения ПКМ и изделий из них широко применяются органические, в том числе полимерные, и неорганические отходы, что позволяет одновременно снизить себестоимость производства, темпы накопления отходов и избежать загрязнения окружающей среды [13, 14].

*Цель и задачи работы.* Кроме сырьевых материалов структура и свойства ПКМ и изделий из них определяются методами их получения и основными технологическими параметрами, к которым относятся давление формования изделий и температурно-временные режимы. Выбор метода получения определяется технологическими свойствами полимерного связующего (вязкостью, термостабильностью, температурным интервалом вязкотекучего состояния), степенью его наполнения, конфигурацией получаемых изделий, но в первую очередь метод получения определяется типом наполнителя (дисперсный, волокнистый, тканый, нетканый, монолитный листовой или пористый объемный [12]). Все методы получения ПКМ можно разделить на методы получения композиционных полуфабрикатов, которые в основном используются в случае применения термореактивных связующих [15], методы переработки полученных полуфабрикатов в изделия и комбинированные методы, в которых получение ПКМ и их переработка в изделия объединены в один процесс.

Основной целью данной работы является обзор методов получения ПКМ и изделий из них, применяемых в современных произ-

водственных процессах. К задачам данной работы относится обобщение информации, относящейся к сущности и особенностям основных методов получения ПКМ и изделий из них, а также к факторам, которые определяют выбор рассматриваемых методов в зависимости от конфигурации получаемых изделий.

#### *Композиционные полуфабрикаты и их получение*

Одной из разновидностей композиционных полуфабрикатов являются премиксы, представляющие собой смеси на основе жидких термореактивных (реактопластичных) связующих (в большинстве случаев ненасыщенных полиэфирных смол) в количестве 20–30 мас. % с добавлением 5–35 мас. % рубленых волокон (преимущественно стеклянных), 30–60 мас. % дисперсных минеральных наполнителей (чаще всего мела или каолина) и различных добавок (красителей, смазок, загустителей и др.). Премиксы получают путем холодного перемешивания с добавлением до 10 мас. % термопластичных полимеров (например, поливинилацетата) для снижения усадки и исключения «отжима» волокон (удаление из них связующего при формовании изделий). Премиксы выпускают в виде гранул, таблеток, дозирующихся волоконитов или в виде сырьевой массы. В изделия премиксы перерабатывают прямым и литьевым горячим прессованием или литьем под давлением [16].

Второй более распространенной разновидностью композиционных полуфабрикатов являются препреги, представляющие собой тканые и нетканые волокнистые наполнители (реже пористые объемные наполнители) в количестве 50–90 мас. %, пропитанные термореактивными или термопластичными связующими. Препреги получают в основном путем протягивания наполнителя через ванну с раствором, расплавом, дисперсией или эмульсией связующего. Также препреги получают одним из следующих способов [17]:

- пропиткой при помощи контактного валика, полупогруженного в ванну со связующим;

- рулонной пропиткой, при которой тканый наполнитель погружают в ванну со связующим;

- центробежной пропиткой, при которой тканый наполнитель помещается на наружную поверхность центробежной камеры, в которой затем разливается связующее;

- напылением (пульверизацией) с использованием сжатого воздуха;

- пропитка с использованием связующих в виде эластичных пленок.

Пропитка протягиванием через ванну со связующим может быть интенсифицирована предварительным нагнетанием горячего воздуха, позволяющим избежать загущения связующего в капиллярах наполнителя, или предварительным вакуумированием капилляров наполнителя, что облегчает процесс их заполнения связующим. Кроме указанных способов, термопластичные связующие нередко используют в виде волокон, которые впоследствии расплавляются при переработке в изделия.

Препреги перерабатывают в изделия методами намотки или выкладки с последующим прямым горячим прессованием, контактным, вакуумным или автоклавным формованием.

Использование композиционных полуфабрикатов позволяет сократить время цикла получения изделий, понизить трудоемкость и энергоемкость основного производства. Однако использование полуфабрикатов связано с ограничениями по жизнеспособности и стабильности их свойств, особенно при использовании терморезистивных связующих.

#### *Методы перемешивания для получения ПКМ*

В случае комбинированного способа, объединяющего получение ПКМ и изделий из них в одном процессе с использованием дисперсных наполнителей или наполнителей с малой длиной волокна (1–2 мм или 3–12 мм), перед стадией формования изделий применяют простое или диспергирующее (с уменьшением частиц наполнителя по мере проведения процесса) перемешивание по одному из следующих основных методов [18]:

1) холодное смешение порошков полимера и наполнителя с последующим переводом полимера в вязкотекучее состояние;

2) горячее смешение наполнителя с полимером, находящимся в вязкотекучем состоянии;

3) смешение наполнителя с раствором полимера с последующим удалением растворителя;

4) смешение наполнителя с водными эмульсиями (латексами) полимера с последующей коагуляцией смеси и удалением воды;

5) смешение наполнителя и мономера с последующей полимеризацией мономера в присутствии наполнителя;

6) наполнение полимеров металлами с формированием частиц наполнителя в присутствии полимера.

Первый способ в настоящее время не нашел широкого применения из-за низкой степени диспергирования наполнителя.

Второй способ является самым распространенным, так как обеспечивает высокую степень диспергирования наполнителя и не требует вспомогательных веществ. Однако второй способ требует сложного оборудования. По третьему и четвертому способу степень диспергирования ниже, чем по второму способу, но одновременно эти способы являются менее энергозатратными, хотя и связаны с затратами на растворители и коагулянты. По четвертому способу требуется дополнительное перемешивание смеси в вязкотекучем состоянии по второму способу. Пятый способ относится к перспективным и заключается в адсорбции инициатора полимеризации на поверхности наполнителя с последующей обработкой мономером. В результате такой обработки начинается полимеризация, в ходе которой наполнитель «обрастает» полимерным связующим. По достижению нужной толщины слоя связующего полимеризацию прекращают добавлением ингибитора [10]. В результате пятый способ обеспечивает наиболее равномерное распределение наполнителя в связующем и высокую (90–95%) степень наполнения, однако этот способ является трудоемким и сложно реализуемым. Шестой способ также относится к перспективным и заключается в восстановлении металлов из их солей методом диффузии в водонабухающих полимерах (например, в поливинилово-спирте) или пористых полимерных структурах [18].

При получении газонаполненных полимерных композитов [1, 19] в связующем создается газообразная дисперсная фаза при помощи следующих способов [19]:

– при механическом перемешивании воздуха с жидкой полимерной композицией с ее последующим переводом в твердое состояние при переработке;

– путем растворения углекислого газа в жидкой полимерной композиции под давлением с ее последующим переводом в твердое состояние при переработке с одновременным снижением давления;

– при помощи диспергирования легкокипящих жидкостей в полимерной композиции с последующим испарением жидкости при переработке композиции в изделие;

– при образовании газов, образующихся в результате реакции поликонденсации при перемешивании компонентов системы с ее последующим переводом в твердое состояние при переработке;

– при смешивании полимерной композиции с порообразователем с его последующим разложением при нагревании во время переработки в изделие;

– при смешивании жидкой полимерной композиции с полыми микросферами.

*Факторы, определяющие метод переработки ПКМ*

Для переработки полученных путем перемешивания или пропитки ПКМ в изделия применяются как аналогичные для переработки обычных полимерных материалов способы, так и специфичные методы [2, 5, 20]. При выборе способа формования наряду с типом наполнителя учитывают принадлежность связующего к термопластам или реактопластам. Применение термопластов за счет более быстрого перехода от вязкотекучего состояния к стеклообразному позволяет использовать более высокопроизводительные методы (литье под давлением и экструзия), которые также позволяют повысить качество и точность размеров изделий, использовать оборудование непрерывного действия с высокой степенью автоматизации. Однако при использовании термопластичных связующих следует учитывать повышенную скорость деструктивных процессов. Применение реактопластов из-за длительности циклов отверждения приводит к необходимости более широкого использования методов прессования или переработки композиционных полуфабрикатов автоклавным методом, вакуумным или пневматическим формованием, намоткой и т.д. У этих методов ниже производительность, выше трудоемкость и энергоемкость, а оборудование в большинстве случаев периодического действия с низкой степенью автоматизации. Другим важным фактором при выборе метода получения и переработки ПКМ в изделия является вязкость перерабатываемых композиционных смесей, которая повышается с увеличением степени наполнения и при переходе от дисперсных наполнителей к волокнистым. Высокая вязкость затрудняет использование высокопроизводительных литьевых и экструзионных методов и приводит к необходимости использования прессовых методов и способов переработки, связанных с выкладкой, намоткой, а также автоклавным, вакуумным и пневматическим методами формования. Однако стоит учитывать, что возможность использования промежуточных продуктов и отвердителей позволяет сократить длительность производственных циклов [21].

С учетом перечисленных факторов полученные одним из шести рассмотренных выше способов смешивания сырьевые смеси связующего и дисперсного наполнителя перерабатывают в изделия в большинстве случаев прямым и литьевым горячим прессованием, экструзией и штранг-прессованием (профильным прессованием), литьем под давлением, свободным литьем, вальцева-

нием и каландрованием, центробежным литьем или спеканием. Для изготовления изделий из ПКМ с минеральными наполнителями в большинстве случаев применяют прямое горячее прессование, вибропрессование или вибролитье с предварительным перемешиванием и пластификацией композиционной смеси [22, 23].

При получении газонаполненных полимерных композитов смеси с дисперсной газовой фазой перерабатывают в изделия методами экструзии, каландрования, прессования, литья под давлением, напыления, а также периодического и непрерывного вспенивания в пресс-формах, открытых формах и на транспортерных лентах [24].

В случае комбинированного способа, объединяющего получение ПКМ и изделий из них в одном процессе с использованием волокнистых наполнителей неограниченной длины вначале проводится пропитка волокон по одному из способов для получения препрегов, а затем проводится получение изделий методами пултрузии (протяжки), намотки, вакуумной инфузии, автоклавной технологии, инъекции, контактного формования, центробежного формования, вакуумного и пневматического формования, а также методом штамповки [23].

В случае комбинированного способа, объединяющего получение ПКМ и изделий из них в одном процессе с использованием тканых и монолитных листовых наполнителей, в большинстве случаев используется прямое горячее прессование.

*Основные методы получения изделий из ПКМ*

Рассмотрим наиболее широко применяемые методы получения изделий из ПКМ:

– Литье под давлением применяется для штучных изделий различной формы и размеров. Способ заключается в предварительной пластикации сырьевой смеси в инжекционном цилиндре с ее последующей подачей при помощи шнека или поршня (плунжера) под давлением через сопло в формующую полость сомкнутой пресс-формы и выдержкой под давлением. Для литья изделий из ПКМ используются режимы инъекции, при которой материал подается в пресс-форму под высоким давлением за короткое время, и интрузии, при которой пресс-форма заполняется расплавом постепенно, а после заполнения пресс-формы для компенсации усадки изделия в нее подается дополнительная порция материала под более высоким давлением.

– Экструзия применяется для профильно-погонажных изделий и заключается в предварительной пластикации и сжатии

сырьевой смеси в материальном цилиндре с последующим формованием путем продавливания через экструзионную головку при помощи шнека, отводом и протяжкой получаемого профиля при помощи тянущих устройств через охлаждающие для термопластичных связующих или нагревающих для терморективных связующих устройства. Для профилей с высокими требованиями к точности размеров после выхода из экструзионной головки проводится калибровка вакуумом или сжатым воздухом для компенсации расширения профиля под действием эффекта Баруса. В конце экструзионных линий устанавливаются устройства для резки профиля на мерные отрезки нужной длины и их намотки для эластичных изделий или укладки для жестких изделий.

– Штранг-прессование также применяется для профилейно-погонажных изделий и отличается от экструзии тем, что материал перемещается и уплотняется при помощи плунжера, который совершает медленный рабочий ход в сторону экструзионной головки, а затем быстро возвращается в исходное положение. За один ход плунжера выдавливается не вся порция материала, и оставшаяся от предыдущей загрузки сырьевая смесь «сваривается» с вновь поступившей порцией, благодаря чему обеспечивается непрерывность процесса и профил.

– Вальцевание и каландрование применяется для получения изделий из ПКМ в форме листов, полотна и пленок заданной толщины и ширины. Эти способы заключаются в многократном пропускании материала в зазоре между двумя валками (вальцевание) или однократном пропускании материала в зазоре между двумя и более (до пяти) валками (каландрование).

– Вибропрессование и вибролитье применяются для получения изделий из ПКМ с минеральными дисперсными наполнителями (искусственный камень, полимерпесчаный композит и др. [1]). При вибролитье сырьевая смесь загружается в открытые формы и уплотняется под действием колебаний, создаваемых вибростолом или виброплощадкой. При вибропрессовании, которое является более производительным и полностью автоматизированным процессом, сырьевая смесь подается в пресс-формы и уплотняется под одновременным действием вибрации и давления, создаваемого пуансоном. Отформованные данными способами изделия с использованием терморективных связующих дополнительно подвергаются термообработке для отверждения в специальных устройствах.

– Контактное формование применяется для крупногабаритных малонагруженных

изделий (например, корпуса, баки, элементы лодок и пр.). Способ является наиболее простым и осуществляется двумя методами: ручной укладкой и напылением. При использовании ручной укладки вначале на поверхность формы наносится разделительный слой (гелькоут), на который укладывается слой тканых или нетканых наполнителей, предварительно пропитанных или пропитываемых на месте связующим. Затем на слой наполнителя наносится слой связующего (возможно нанесение нескольких чередующихся слоев наполнителя и связующего), проводится отверждение связующего, извлечение изделия и его механическая обработка. При напылении используется специальная установка, в которую подается ровинг бесконечной длины, смола и отвердитель. Ровинг рубится на короткие волокна, которые вместе с компонентами связующего напыляются на разделительный слой, а затем проводится уплотнение слоя композиционного материала [24, 25].

– Центробежное формование (центробежное литье) применяется для получения полых изделий с гладкой поверхностью (например, труб, втулок, подшипников скольжения). Способ заключается в предварительной укладке тканого или нетканого наполнителя в барабан центрифуги с последующей подачей связующего при помощи совершающей возвратно-поступательные движения смесительной головки. При подаче связующего и отверждении барабан вращается [24].

– Вакуумная инфузия, при которой в герметичную форму, на поверхность которой нанесен разделительный слой (гелькоут), укладывается тканый или нетканый наполнитель и технологический слой (перфорированная пленка или проводящая сетка), подводятся линии подачи связующего и вакуумные линии, укладывается вакуумная пленка, которая фиксируется герметизирующим жгутом. После этого происходит вакуумирование формы и подача связующего, которое благодаря разрежению легче пропитывает наполнитель и заполняет свободный объем. После отверждения снимается вакуумный пакет и технологический слой, а деталь извлекается и подвергается механической обработке. Способ применяется для получения изделий, аналогичных контактному формованию.

– Автоклавное формование во многом аналогично вакуумной инфузии и отличается тем, что, как следует из названия, весь процесс получения изделия из ПКМ происходит в автоклаве, в котором создаются повышенные температура и давление, обеспечивающие ускоренное отверждение

и улучшенный прижим материала к форме и вакуумной пленке [25].

– Намотка применяется для получения сверхлегких баллонов и композитных труб. Метод проводится путем намотки волокнистого наполнителя на вращающуюся оправку. При этом используется препрег (сухой способ) или ровинг, который до намотки проходит пропиточную ванну (мокрый способ) или наматывается на оправку, находящуюся в замкнутой форме, в которую после намотки подается связующее, пропитывающее заготовку (метод раздельного формования) [2, 24, 25].

– Пултрузия применяется для получения длинномерных профильных изделий (например, строительной арматуры или шпунтовых свай) и заключается в том, что препрег или проходящий через пропиточную ванну ровинг протягиваются через преформовочное устройство, где происходит придание формы изделию, а затем через профилирующую матрицу, где происходит фиксация формы изделия и его отверждение [24, 25].

– Прессование применяется для изделий различных формы и размеров. Различают прямое (компрессионное) прессование, при котором загрузка и формование изделия происходят в полости пресс-формы, и литьевое (трансферное) прессование, при котором загрузка и плавление материала происходят в загрузочной камере пресс-формы, а затем расплав инжектируется через литниковую систему под действием пуансона. В свою очередь метод прямого прессования подразделяется на метод холодного прессования, проводимый без нагрева материала, и метод горячего прессования с использованием нагревательных плит для пластикации полимерного связующего. Для получения изделий простой формы применяется горячее прямое прессование препрегов или премиксов, а для получения изделий сложной формы применяется литьевое прессование. Прямое холодное прессование применяется в основном при формовании заготовок для последующего спекания. Возможна выкладка тканого, нетканого или монолитного наполнителя в пресс-форме с последующими пропиткой и прямым горячим прессованием. Отверждение для термореактивных связующих или охлаждение для термопластичных связующих происходит в сомкнутой пресс-форме [2, 24, 25].

– Инжекция (технология RTM – resin transfer molding) применяется наравне с автоклавным формованием и вакуумной инфузией. Способ заключается в размещении тканого или нетканого наполнителя в матрице пресс-формы. Затем происходит за-

крытие пресс-формы, в которую под давлением подается связующее. Отверждение происходит в сомкнутой форме с последующим размыканием.

– Свободное литье (заливка) применяется в первую очередь для переработки полимербетонов и полимерцементов. Этот способ заключается в подаче премиксов или получаемых путем предварительного смешивания композиций в опалубку или открытые формы.

### Заключение

Из представленной в данной работе информации видно, что в общем виде на начальном этапе все перечисленные методы и способы предусматривают получение сырьевой смеси путем перемешивания наполнителя со связующим или путем пропитки наполнителя связующим. Одновременно с получением сырьевой смеси или в процессе формования из нее изделий производится перевод связующего в вязкотекучее состояние путем его плавления (пластикации) или растворения. В ряде случаев (при переработке листовых заготовок штамповкой, вакуум- или пневмоформованием) полимерное связующее переводится в высокоэластичное состояние путем нагрева. Затем сырьевая смесь со связующим в вязкотекучем состоянии подается в формующую оснастку, в которой под действием температуры, давления и времени происходит формование изделия с последующим отверждением для термореактивных или охлаждением для термопластичных связующих. Также в большинстве случаев для изделий из полимерных композиционных материалов предусматривается механическая обработка изделий для раскроя, шлифовки, удаления литников и облоя.

Также из представленной информации можно сделать вывод о том, что разнообразие методов получения ПКМ и изделий из них позволяет осуществлять переработку композиций с любыми применяемыми в настоящее время полимерными связующими и наполнителями, обеспечивает получение изделий с требуемыми свойствами, структурой, формой и размерами.

### Список литературы

1. Колосова А.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение / А.С. Колосова, М.К. Сокольская, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 5. – С. 245–256.
2. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебное пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин [и др.]; Под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

3. Торлова А.С. Технологии производства, свойства и области применения композиций на основе фенолформальдегидных смол / А.С. Торлова, И.А. Виткалова, Е.С. Пикалов // Научное обозрение. Технические науки. – 2017. – № 2. – С. 96–114.
4. Виткалова И.А. Технологии получения и свойства фенолформальдегидных смол и композиций на их основе / И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Научное обозрение. Технические науки. – 2017. – № 2. – С. 15–28.
5. Брацыхин Е.А. Технология пластических масс: учеб. пособие для техникумов / Е.А. Брацыхин, Э.С. Шульгина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 328 с.
6. Бобович Б.Б. Полимерные композиционные материалы: учеб. пособие / Б.Б. Бобович. – М.: Изд-во МГИУ, 2009. – 59 с.
7. Тугов И.И. Химия и физика полимеров: учебное пособие для вузов / И.И. Тугов, Г.И. Кострыгина. – М.: Химия, 1989. – 432 с.
8. Чухланов В.Ю. Поливинилацетатные связующие материалы, модифицированные алкоксисиланом / В.Ю. Чухланов, О.Г. Селиванов, Т.А. Трифонова // Строительные материалы. – 2014. – № 9. – С. 52–54.
9. Сокольская М.К. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов / М.К. Сокольская, А.С. Колосова, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10–2. – С. 290–295.
10. Алентьев А.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов: учебное пособие / А.Ю. Алентьев, М.Ю. Яблокова. – М.: Изд-во МГУ имени М. В. Ломоносова, 2010. – 69 с.
11. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
12. Колосова А.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов / А.С. Колосова, М.К. Сокольская, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10–3. – С. 459–465.
13. Шахова В.Н. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования / В.Н. Шахова, А.А. Воробьева, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 11–2. – С. 320–325.
14. Чухланов В.Ю. Новая защитная композиция на основе модифицированного вторичного полистирола для строительных конструкций / В.Ю. Чухланов, О.Г. Селиванов, Н.В. Селиванова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9 (2). – С. 297–301.
15. Самохвалов В.В. Методы изготовления полуфабрикатов из композиционных полимерных материалов / В.В. Самохвалов, В.И. Корольков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. № 4–3 (9–3). – С. 34–38.
16. Химическая энциклопедия: В 5 т.: Т. 4: Полимерные – Трипсин / Ред.-кол.: Зефирова Н.С. (гл. ред.) [и др.]. – М.: Большая российская энциклопедия, 1995. – 639 с.
17. Нелюб В.А. Технологии получения препрегов / В.А. Нелюб // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2013. – № 3. – С. 12–17.
18. Тоневецкий Ю.В. Полимерные композиционные материалы / Ю.В. Тоневецкий, В.Ю. Тоневецкий. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2016. – 134 с.
19. Бобович Б.Б. Неметаллические конструкционные материалы: учебное пособие для вузов по направлению 150600 (651700) «Материаловедение, технологии материалов и покрытий» / Б.Б. Бобович. – М.: Изд-во МГИУ, 2009. – 384 с.
20. Яблокова М.Ю. Полимерные композиционные материалы: методы получения: методическое руководство / М.Ю. Яблокова. – М.: Изд-во МГУ имени М.В. Ломоносова, 2011. – 56 с.
21. Ткачук А.И. Термопластичные связующие. Настоящее и будущее / А.И. Ткачук, Т.А. Гребенева, Л.В. Чурсова, Н.Н. Панина // Труды ВИАМ. – 2013. – № 11. – С. 7.
22. Ивановский С.К. К вопросу переработки полимерных композиционных материалов / С.К. Ивановский, А.Н. Бахаева, К.В. Жерякова, А.Р. Ишкuvatова // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 12 (5). – С. 592–595.
23. Вишняков Л.Р. Композиционные материалы: справочник / Л.Р. Вишняков, Т.В. Грудина, В.Х. Кадыров [и др.]; Под ред. Д.М. Карпиноса. – Киев: Наукова думка, 1985. – 592 с.
24. Шварц О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф.В. Эбелинг, Б. Фурт; Под общ. ред. А.Д. Паниматченко. – 9-е изд. – СПб.: Профессия, 2005. – 320 с.
25. Крыжановский В.К. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.