

УДК 678.078.2:339.562

**В. Е. Сыцко** (val19-10@mail.ru),  
доктор технических наук, профессор  
Белорусского торгово-экономического  
университета потребительской кооперации

**Е. Л. Антонова** (viramaina3@yandex.by),  
магистр товароведения, исследователь  
Белорусского торгово-экономического  
университета потребительской кооперации

**Е. П. Багрянцева** (ger07@mail.ru),  
кандидат технических наук, доцент,  
проректор по научной работе  
Белорусского торгово-экономического  
университета потребительской кооперации

**Н. В. Кузьменкова** (natasha\_k\_03w@mail.ru),  
кандидат технических наук, доцент  
Белорусского торгово-экономического  
университета потребительской кооперации

## ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВМЕЩЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ КАК ОСНОВА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

В статье проводится анализ современных подходов к совмещению вторичных полимеров с модификаторами. Объектом исследования являются новые композиционные материалы, полученные в результате рециклинга вторичных полимеров, совмещенных с органо-растительными компонентами. Рассмотрены основные проблемы совмещения полимеров друг с другом и с органическими наполнителями, изучены практические аспекты совмещения вторичных полимеров с древесными наполнителями. Рассмотрены практические аспекты совмещения вторичных полимеров с древесными наполнителями, показано влияние различных технологических факторов на свойства получаемого материала. Выделены основные проблемы совмещения полимеров друг с другом и с органическими наполнителями, рассмотрены отдельные технологические приемы, упрощающие совмещение разных видов полимеров. Результаты вносят вклад в технологию переработки полимерных материалов, материаловедение и товароведение.

The article analyzes modern approaches to combining secondary polymers with modifiers. The object of the study is new composite materials obtained as a result of recycling of secondary polymers combined with organo-plant components. The main problems of combining polymers with each other and with organic fillers are considered; practical aspects of combining secondary polymers with wood fillers are studied. The practical aspects of combining secondary polymers with wood fillers are considered; the influence of various technological factors on the properties of the material obtained is shown. The main problems of combining polymers with each other and with organic fillers are highlighted, and individual technological techniques that simplify the combination of different types of polymers are considered. The results contribute to the technology of polymer materials processing, materials science and commodity science.

**Ключевые слова:** рециклинг; вторичные полимеры; древесно-полимерные композиты.

**Key words:** recycling; secondary polymers; wood-polymer composites.

### Введение

В связи с назревшими экологическими проблемами многие развитые страны пытаются решить проблему загрязнения окружающей среды твердыми бытовыми и промышленными отходами. В отдельных странах с данной проблемой борются путем введения высоких штрафов за

выброс мусора в неположенных местах, однако это не полностью решает проблему. Экологическая проблема накопления мусора в природе остро стоит по всему миру благодаря постоянному росту отходов производства и потребления. Несмотря на то что пластмассы являются неопасными отходами, их вред заключается в накапливании и отсутствии естественного разложения. Избавиться от них сложно, а при сжигании и гниении пластмасс выделяются опасные вещества, усугубляющие парниковый эффект. Решить экологическую проблему можно сортировкой, отказом от захоронения, мусоросжиганием, переработкой и высокими штрафами за неправильный выброс мусора. Стоит отметить, что захоронение и мусоросжигание пригодного для переработки мусора имеют одну общую проблему – увеличение экологического ущерба за счет образования новых отходов. Поэтому внимание следует уделять не сокращению численности остатков, а их вторичной комплексной переработке.

Проблема решается путем вовлечения вторичного полимерного сырья в повторный оборот, что позволяет не только снизить уровень загрязнения природной среды, но и получить выгоду от экономии первичных ресурсов. На передний план выступает вопрос изучения возможностей и перспектив комбинированного рециклинга вторичных полимеров. В настоящее время в строительной отрасли, автомобильной промышленности и мебельном производстве нашли широкое применение изделия на основе термопластичных древесно-полимерных композитов, важнейшими свойствами которых являются стойкость к атмосферным воздействиям, низкое водопоглощение, экологичность, долговечность и простота переработки в изделия. Соответственно, важным направлением становится исследование возможностей совмещения вторичных полимеров с различными модификаторами.

Совмещение полимеров представляет собой процесс получения однородной смеси различных видов полимеров. В соответствии с данным определением термин «совмещение полимеров» идентичен термину «смешение полимеров», а совмещенными полимерами являются любые композиции, состоящие из двух и более полимеров, которые по внешним признакам представляются гомогенными в отличие от полимерных смесей, армированных волокнами. Полимерные материалы на основе смесей полимеров создаются на протяжении нескольких десятилетий. При их разработке руководствовались теорией, что при смешении полимеров можно получить изделия с промежуточными свойствами. Однако накопленные за ряд лет экспериментальные данные показали, что ряд совмещенных систем обладает принципиально новыми свойствами.

Совмещением полимеров можно достигнуть значительного изменения их свойств. Обычно совмещенные полимеры получают сплавлением или смешиванием их растворов. В большинстве случаев совмещение приводит к образованию стабильного твердого раствора одного полимера в другом, а иногда – к частичному образованию блоксополимеров. Среди совмещенных полимеров большое значение приобрели сочетания резольных феноло-формальдегидных смол с различными полимерами. При совмещении с поливинилацетатами повышается клейкость растворов этих смол. Сочетание с полиамидами или каучуками приводит к уменьшению хрупкости отвержденной смолы. При совмещении с анилиноформальдегидной смолой улучшаются диэлектрические свойства. При сочетании с полисилоксанами повышается термостойкость смол. Совмещенные полимеры применяют в качестве клеев, а также в производстве пластических масс и резиновых изделий [1].

Как известно, многие жидкости при смешивании не образуют растворов, они как бы избегают друг друга. Их можно взбить и образовать эмульсию, но со временем она вновь расслоится. Аналогичным образом ведут себя и расплавы многих полимеров. Конечно, полученная их смешиванием в горячем виде полимерная дисперсия не распадется после остывания, но химических связей между молекулами в ней не будет, и охлажденная и застывшая композиция будет иметь не очень высокую прочность. Поэтому в технологии полимеров необходимо учитывать совместимость различных полимеров между собой, т. е. способность образовывать прочные гомогенные смеси – полимерные сплавы.

Современные технологии позволяют использовать в композициях и несовместимые полимеры при помощи специальных добавок-усилителей адгезии – компатибилизаторов, связующих агентов. В первую очередь, эти добавки используются для обеспечения совмещения молекул полиолефинов и древесины. Оценка применимости закономерностей физической химии, физики и механики к полимерам имеет особое значение для правильного понимания и осуществления на практике способов их переработки в изделия. В частности, большое значение имеет изучение свойств растворов и расплавов полимеров и возможности формования из них изделий с заданными свойствами.

Таким образом, химия и физика имеет непосредственное отношение к производству полимеров [2].

Перспективные варианты рецептурных составов наполненных композитов основываются на трех предпосылках:

1) вторичные полимеры в ряде случаев являются практически полноценной заменой первичных термопластов, однако для компенсации естественного ухудшения свойств часто требуется их целевое модифицирование, включая наполнение веществами различного происхождения, способных изменить структурные и физико-механические характеристики композитов;

2) в качестве органических наполнителей для первичных и вторичных полимеров перспективными представляются отходы деревообрабатывающего производства (в виде древесной муки ДМ или древесных волокон ДВ), поскольку они способны придавать первичным полимерам привлекательные потребительские свойства, а в случае вторичных полимеров – особым образом взаимодействовать со структурными дефектами, компенсируя их роль в ухудшении свойств собственной структурообразующей ролью;

3) в качестве неорганических наполнителей для первичных и вторичных полимеров перспективными представляются вещества, снижающие горючесть органических компонентов композита.

Исследована экструзия композиций эмульсионного и суспензионного поливинилхлорида (ПВХ), которые при сравнительно высоких показателях физико-механических характеристик имеют температурный интервал переработки на 70–90 °С ниже температур интенсивной термодеструкции древесины. В пользу применения ПВХ в качестве связующего при получении разного рода профильных изделий из древесно-полимерных композитов методом экструзии явилось и то обстоятельство, что данный полимер обеспечивает требуемую формостабильность изделий (сохранение линейных размеров) после их выхода из формующей головки, в то время как использование других полимеров (полиэтилена, полипропилена и полистирола) при степенях наполнения до 50 масс.% осложняет достижение формостабильности, а использование полиамида неоправданно ввиду высокой температуры плавления (для разных марок 220–270 °С), что превышает температуру термодеструкции древесины. Введение в композиции стеаратов металлов (цинка, кальция, магния, кобальта, свинца) обусловлено необходимостью термостабилизации ПВХ [3]. Однако применение стеарата свинца ограничено его высокой токсичностью, а стеарата кобальта – дефицитностью. Применение же стеарата цинка в сравнении со стеаратом кальция предпочтительнее, поскольку он улучшает перерабатываемость высоконаполненного композита вследствие более низкой температуры плавления [4]. Оптимальное содержание стеаратов в композите находится в интервале 1,0–2,0 масс.%.

Важное значение при получении профильных изделий из экструзионных древесно-полимерных композитов (ДПК) имеет правильный выбор древесного наполнителя. Как видно из таблицы 1, более высокими прочностными свойствами обладают образцы на основе опилок и шпона-дробленки. Применение стружки, как правило, приводит к снижению физико-механических характеристик образцов и ухудшает качество их поверхности вследствие плохой упаковки агрегатов частиц стружки в композите и их распрессовки после формования. Это приводит к разупрочнению композита и увеличению шероховатости поверхности изделия. При введении в композит шлифовальной пыли, получаемой при обработке древесных плит, наряду с существенным улучшением качества поверхности наблюдается резкое снижение прочностных свойств образцов и ухудшение перерабатываемости вследствие возрастания вязкости композиции. Тем самым возникает необходимость использования пластификаторов.

Таблица 1 – Зависимость физико-механических характеристик экструзионных древесно-полимерных композитов от вида наполнителя

Показатели	Вид наполнителя			
	Опилки 1–5 мм	Стружка 5–20 мм	Шпон дробл. 3–15 мм	Шлифпыль
Разрушающее напряжение при статистическом изгибе, МПа	28,3	24,6	31,8	24,8
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	3,70	3,86	5,20	2,52
Водопоглощение за 24 ч, %	20,2	24,6	22,4	12,3
Шероховатость поверхности, мкм	160	240	230	100
Примечание – Источник: собственная разработка авторов.				

Известны данные о возможности использования связующего в виде суспензии в жидких средах, например жидкого стекла [5]. Такой прием позволяет обеспечить не только равномерное распределение ПВХ, но и одновременно производить модифицирование древесных частиц. Для обеспечения сцепления порошкообразного связующего с древесными частицами необходимо использовать не менее 8–12% жидкого стекла. Однако в данном случае возникают трудности с переработкой вследствие частичного отверждения жидкого стекла, а также ввиду необходимости дополнительной сушки обработанных древесных частиц. Вторым путем предотвращения разделения компонентов является применение тонковолокнистых добавок (измельченных отходов поливинилхлоридных и полиакрилонитрильных волокон) в количестве 0,5–2,5 масс.%, а также использование в композиции мелкодисперсных частиц в виде опилок или шлифовальной пыли при содержании последних не менее 30 масс.%. Механизм улучшения физико-механических характеристик композитов, наполненных полидисперсными частицами, обусловлен их комплексным действием на матрицу (таблица 2). При этом наблюдается улучшение технологических свойств исследуемых композитов, о чем свидетельствуют значения потребляемой мощности при экструзионной переработке, что обусловлено уменьшением межчастичного трения.

Таблица 2 – Физико-механические и технологические характеристики

Показатели	Содержание мелкодисперсной древесины в смеси с крупнодисперсной, масс.%						
	0	10	29	35	50	75	100
Разрушающее напряжение при статистическом изгибе, МПа	32,0	31,9	30,8	30,5	30,0	28,2	25,9
Водопоглощение за 24 ч, %	25,5	23,4	22,0	21,8	21,6	21,4	20,0
Потребляемая мощность при переработке, кВт	15,4	15,0	14,4	10,9	10,9	10,8	12,0

Примечание – Источник: собственная разработка авторов.

Введение в ДПК измельченной древесины из сосны, березы, дуба и осины позволяют получать образцы с более высокими прочностными свойствами в сравнении с образцами, полученными с применением измельченной ольхи. Установлено, что ее содержание в композите должно быть не более 50% от массы древесного наполнителя. Это объясняется присутствием в измельченной ольхе значительного количества гнили, приводящей к непосредственному снижению прочности наполнителя, а соответственно, и к снижению физико-механических характеристик ДПК. На свойства образцов также оказывает и наличие в них коры, что способствует снижению его прочности (до 30%) и образованию в поверхностных слоях вздутий и трещин.

Исходя из вышеизложенного, состояние лигноцеллюлозного наполнителя в значительной степени сказывается на свойствах его композитов с полимерами и требует тщательного выбора компонентов перспективных ДПК. Таким образом, рассмотрены практические аспекты совмещения вторичных полимеров с древесными наполнителями, показано влияние различных технологических факторов на свойства получаемого материала. Однако существует необходимость усиления отечественной производственной базы для изготовления столь важного вида продукции, пользующейся высоким спросом. Одним из перспективных путей для этого является использование в производстве ДПК вторичных полимеров.

### Заключение

В процессе исследования выделены основные проблемы совмещения полимеров друг с другом и с органическими модификаторами, рассмотрены отдельные технологические приемы, упрощающие совмещение разных видов полимеров, рассмотрены практические аспекты совмещения вторичных полимеров с древесными наполнителями, показано влияние различных технологических факторов на свойства получаемого материала. С ростом потребления растут и объемы образующихся твердых бытовых отходов, в связи с чем проблема накопления промышленных и бытовых отходов изделий бытовой химии ведет к увеличению нагрузки на окружающую среду.

Авторами также рассмотрены способы совмещения разных видов полимеров, показано, что технологические приемы совмещения полимеров, в особенности при совмещении каучуков с пластиками, оказывают в ряде случаев доминирующее влияние на характер образующихся фаз и, соответственно, на механические и эксплуатационные свойства системы. Вовлечение отходов про-

изводства в повторный процесс производства, в частности производство полимерно-древесных плит, изготавливаемых путем совмещения отходов термопластичных полимеров и сухой древесины, является одним из эффективных методов, снижающих нагрузку на окружающую среду. Полученные результаты вносят вклад в технологию переработки полимерных материалов, материаловедение и товароведение и могут найти применение в химической и деревообрабатывающей промышленности.

### Список использованной литературы

1. **Общая** химическая технология органических веществ / Д. Д. Зыков [и др.] ; под ред. Д. Д. Зыкова. – М. : Химия, 1966. – 438 с.
2. **Сутягин, В. М.** Химия и физика полимеров : учеб. пособие / В. М. Сутягин, Л. И. Бондалетова. – Томск : ТПУ, 2003. – 208 с.
3. **Физическая** химия полимерных композиций / под ред. Ю. С. Липатова. – Киев : Навук. думка, 1974. – 184 с.
4. **Гарасевич, Г. И.** Формованные изделия из древесноклеевой композиции / Г. И. Гарасевич, А. А. Семеновский. – М. : Лесная пром-сть, 1972. – 160 с.
5. **Привалко, В. П.** Основы теплофизики и реофизики полимерных материалов / В. П. Привалко, В. В. Новиков, Ю. Г. Яновский ; Ин-т высокомолекуляр. соединений. – Киев : Навук. думка, 1991. – 232 с.
6. **Сыцко, В. Е.** Рециклинг полимерных материалов как основа экологической безопасности [Электронный ресурс] / В. Е. Сыцко, Е. Л. Антонова // Эффективность сферы товарного обращения и труда : сб. науч. ст. IX Писаренковских чтений, Гомель, 26 окт. 2023 г. / Бел. торгово-эконом. ун-т потребит. кооп. ; редкол.: С. Н. Лебедева [и др.]. – Гомель, 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
7. **Древесно-полимерные** материалы как основа импортозамещения / В. Е. Сыцко [и др.] // Кооперация и устойчивое развитие : сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 14 дек. 2022 г. / Рос. ун-т кооп. – Мытищи, 2023. – С. 168–175.
8. **Recycling** as a chemical technology for processing polymer waste / E. L. Antonova [et al.] // Education and science in the 21<sup>st</sup> century : art. of the VII Intern. scientific and practical conf., Oct. 27, 2022. – Vitebsk, 2022. – P. 14–17.

Получено 09.07.2024.