

**В. В. Глухих, А. Е. Шкуро, Т. А. Гуда,  
О. В. Стоянов**

### **ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ (ОБЗОР)**

*Ключевые слова: обзор, биоразлагаемые древесно-полимерные композиты, получение, свойства, применение.*

*Приведен обзор научно-технической информации по методам получения, свойствам и применению древесно-полимерных композитов с биоразлагаемыми полимерными матрицами.*

*Keywords: review, biodegradable wood-plastic composites, reception, properties, application.*

*The review of the scientific and technical information on reception methods, properties and application of biodegradable wood-plastic composites with biodegradable polymeric matrixes is resulted.*

Термин «древесно-полимерные композиты (wood-plastic composites)» в современной зарубежной и отечественной литературе применяется к материалам, полученным из смеси органического термопластичного полимера и наполнителя растительного происхождения. Для получения древесно-полимерных композитов (ДПК, WPC) применяют разнообразные наполнители и термопластичные связующие [1-8]. В качестве термопластичных связующих преимущественно используют бионеразлагаемые (non-biodegradable) синтетические полимеры этилена и пропилена, что приводит к неполной биодegradации ДПК, полученных на их основе. Основной областью применения древесно-полимерных композитов является строительство и автомобильная промышленность [4]. В 2002 году распределение потребления ДПК выглядело следующим образом [5]: автомобилестроение (31 %), конструкции (28 %), морской флот (12 %), компоненты электроники (10 %), приборостроение (8 %), потребительские товары (8 %), космическая промышленность (1 %), прочее (4 %).

В последнее время большое внимание уделяется организации производства и применению биоразлагаемых композитов («зелёных» композитов), в том числе и ДПК. Из-за экологических соображений законодательства ряда стран вводят ограничения на использование бионеразлагаемой упаковки. Европейский союз принял ряд директив по ограничению применения бионеразлагаемых материалов не только для упаковки, но и в автомобилестроении [5, 8].

Вопросам биоповреждений ДПК уделялось большое внимание с целью повышения их биостойкости к действию различных видов микроорганизмов (грибов, гнилостных бактерий, водорослей, термитов и др.). Установлено, что на биостойкость, а, следовательно, и на биодegradацию ДПК и изделий на их основе влияет очень большое число производственных и эксплуатационных факторов [4].

Среди производственных факторов отмечают:

химический состав полимерной матрицы;  
химический состав наполнителя;

фракционный состав наполнителя;  
влажность наполнителя;  
рецептура композиций;  
способ получения изделий;  
температурно-временные режимы получения изделий;  
плотность изделий;  
пористость изделий.

Роль наполнителей в формировании биостойкости ДПК достаточно подробно описано в литературе [4, 5, 7-9].

В данной статье представлен обзор научно-технической информации по получению, свойствам и применению ДПК на основе полимерных матриц с улучшенной биоразлагаемостью.

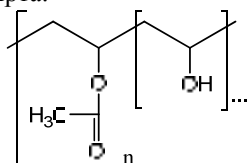
При определении термина биодegradация (биоразлагаемость) нет полного соответствия, которое дают стандарты, принятые разными странами и международной организацией стандартов ISO [10]. Различают первичную биодegradацию, когда происходят изменения в химической структуре полимера, сопровождающиеся изменением его специфических свойств, а также полную биодegradацию, ведущую к общей минерализации материала с образованием диоксида углерода (в аэробных условиях) или метана (в анаэробных условиях), а также воды, минеральных солей и новой биомассы (новых микробиологически образованных клеточных компонентов).

Принципы повышения биоразлагаемости полимерных матриц для композитов сформулированы и описаны в литературе [8,10-14]. Такие матрицы можно получать, используя биоразлагаемые полимеры или смеси бионеразлагаемых полимеров со специальными добавками (агентами биодеструкции). Биоразложение проявляется у полимеров, способных к окислению кислородом и/или гидролизу. К полимерам, способным к заметному биоразложению, относят макромолекулы, содержащие в своём составе группировки спиртов, сложных и простых эфиров, лактонов и другие. Установлено, что на биодеструкцию полимеров влияет не только содержание таких группировок, но и их местоположение в макромолекулах (в основной цепи или в боковых участках).

Биоразлагаемые полимеры по происхождению можно разделить на два вида: синтетические и природные полимеры. Наиболее распространёнными методами получения синтетических биоразлагаемых полимеров являются химический и микробиологический синтезы. При химическом синтезе проводят реакции полимеризации или поликонденсации мономеров или используют реакции полимераналогичных превращений.

### 1. Биоразлагаемые ДПК с полимерной матрицей на основе синтетических термопластов

Ряд публикаций посвящен получению ДПК с гидроксилсодержащими полимерами, когда в качестве полимерной матрицы использовались полимеры и сополимеры винилового спирта. В промышленных условиях поливиниловый спирт (ПВС) получают гидролизом поливинилацетата. Макромолекулы ПВС могут не иметь остаточных винилацетатных звеньев, или содержать их в количестве от 1 до 30 % мол. [15]. Поэтому в общем виде эти молекулы можно представить сополимерами винилацетата и винилового спирта:



Отмечается [16], что способность ПВС к биодеструкции зависит от соотношения элементарных звеньев винилового спирта и винилацетата (m:n).

Описаны способы получения ДПК с полимерной матрицей, полученной из ПВС, химически модифицированного ПВС и смесей ПВС с другими полимерами.

Ряд исследователей использовали ПВС в композиции с наполнителями растительного происхождения для получения плёнок, которые могут быть предназначены для различных целей, в том числе и для упаковки [17-24]. В качестве наполнителя при получении плёнок применяли целлюлозные волокна [17, 20, 24], порошок скорлупы кокосов [18], пектин [19], крахмал [19, 23], морские водоросли [21, 22]. Плёнки получали методами полива, экструзии, литья под давлением, пропиткой наполнителей.

Исследовано влияние на свойства плёнок соотношения ПВС:наполнитель и ряда других факторов (содержания пластификаторов, размеров частиц наполнителей и др.).

Так, например, А.А.Sapalidis и другие [21] получили и исследовали пленки композита состоящего из ПВС и частиц морских водорослей *Zostera*. В работе использовался ПВС среднемолекулярной массы 37000 со степенью гидролиза 88%. Образцы пленок толщиной 100 микрон готовились смешением растворенного в деионизированной воде ПВС и измельченных водорослей в количестве от 3 до 50 % мас. Затем смесь помещалась в чашки Петри и медленно сушилась при 40 °С. Были исследованы механические и термические характеристики

полученного композита в форме плёнок. Установлено, что с увеличением содержания частиц *Zostera* (до 30% масс) у плёнки растет значение модуля Юнга и падает значение показателя удлинения при разрыве (рис. 1).

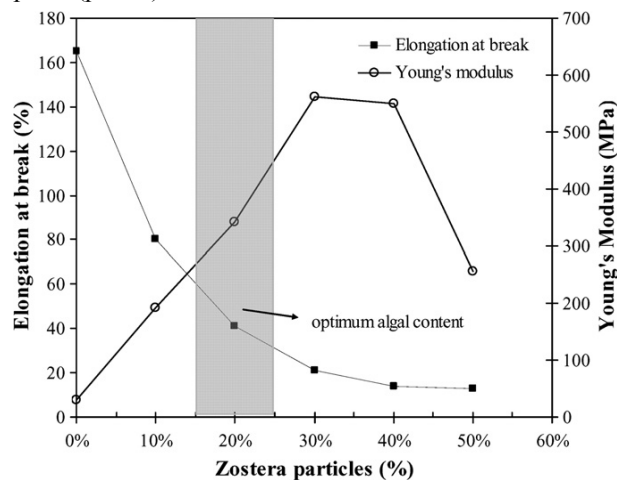


Рис. 1 - Изменение относительного удлинения и модуля Юнга как функция процентного содержания *Zostera* [21]

Водопоглощение композита содержащего 20% частиц *Zostera* незначительно увеличивается относительно чистого ПВС. Кроме того, наполнение композита частицами *Zostera* повышает его температуру плавления. По показателям механических свойств и другим свойствам за оптимальное было принято 20 % мас. содержание частиц *Zostera* в композите. Авторы предлагают использовать полученные плёнки как упаковочный биоразлагаемый материал.

В европейской заявке [25] предложено методами компрессионного прессования и литьем под давлением получать изделия для электротехники и автомобилестроения из ДПК, в состав которых входит биоразлагаемый органический полимер (например, ПВС), растительные (хлопковые или древесные) волокна, ингибитор гидролиза биоразлагаемых полимеров, а также неорганические наполнители, антипирены и УФ-абсорберы. Заявленный состав ДПК позволяет обеспечить изделиям способность к разложению микроорганизмами, теплостойкость, механическую прочность, и устойчивость при хранении.

С целью улучшения свойств биоразлагаемых ДПК с поливинилспиртовой матрицей W.Zhang с коллегами изучили влияние механоактивации целлюлозных волокон на свойства композитов [26]. В своей работе они использовали ПВС со степенью полимеризации  $1750 \pm 50$  и степенью гидролиза 99 %. Механохимическая активация целлюлозных волокон до гранул проводилось размолотом в специальной мельнице в несколько циклов.

Гранулы целлюлозы и ПВС смешивались в лабораторной мельнице в массовом соотношении 3:10, а также с водой и пластификатором формамидом. Затем смесь перемешивалась в брабендере при температуре 150 °С в течение 10 минут. Из полученной композиции прессовались диски диаметром 150 мм и толщиной 1 мм при давлении 10 МПа при 175 °С в течение 15 минут.

Применение механохимической активации целлюлозы существенно улучшило прочность композитов при разрыве (с 8,8 до 16,4 МПа) и увеличило относительное удлинение при разрыве с 76,8% до 374%. Так же возросли термостабильность и биоразлагаемость композита.

Для повышения физико-механических свойств ДПК использовалась химическая модификация ПВХ фталевым ангидридом [27] и глиоксалем [28].

S.K.Ozaki с коллегами [28] исследовали влияние на свойства композита мольного соотношения в ДПК целлюлозы, ПВХ и фталевого ангидрида (ФА). В их экспериментах использовалась древесная мука *suji* (*Criptomeria japonica*) с размером частиц не более 63 микрон, ПВХ со степенью полимеризации 2000 и степенью гидролиза 99-100 % и фталевый ангидрид. Древесная мука перемешивалась с водной смесью ПВХ и ФА, затем подсушивалась в вакууме при 70 °С в течение 2 ч, а затем проходила 4 цикла по 15 минут в гомогенизаторе большой мощности. Доля древесной муки во всех композициях была 50 % мас. Фракция композиции, прошедшая через сито с размером ячеек 100 меш. сушилась при 105 °С в течение 4 ч и после этого из неё получали пластины размером 50x10x2 мм методом прессования при 180 °С под давлением 50 МПа в течение 20 минут. Состав композиций приведён в табл. 1.

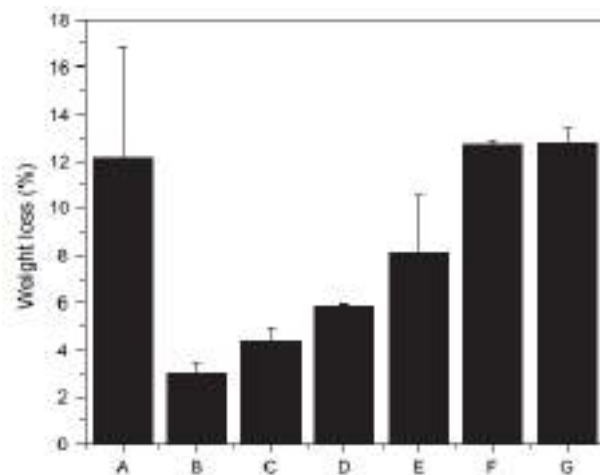
Полученные композиты отличаются хорошими механическими свойствами и более высокой прочностью, чем цельная древесина. Увеличение мольного соотношения целлюлоза/ПВХ приводит к росту модуля упругости и уменьшению модуля разрыва. Варьирование соотношения ФА/ПВХ позволило получить композиты со значением модуля упругости при изгибе около 13 ГПа и модулем разрыва около 90 МПа.

Биоразложение полученных ДПК оценивалось различными методами. Изменения в структуре композита в процессе биodeградации изучались с помощью инфракрасной спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Увеличение содержания ФА в ДПК с ПВХ приводит к повышению биоразложения композитов в почве (рис. 2).

**Таблица 1 – Композиции для композитов с древесной мукой-ПВХ [27]**

Композиты	A	B	C	D	E	F	G
Целлюлоза (моль) <sup>a</sup>	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ПВХ (моль)	0	11,0	10,0	9,0	8,0	6,0	4,0
ФА (моль)	0	0	0,3	0,7	1,1	1,8	3,3
Мольное отношение целлюлоза/ПВХ	∞	0,11	0,12	0,13	0,15	0,20	0,30
Мольное отношение ФА/ПВХ	0	0	0,03	0,08	0,14	0,30	0,83
Мольное отношение [целлюлоза+ПВХ]/ФА	∞	∞	37	15	8	4	2

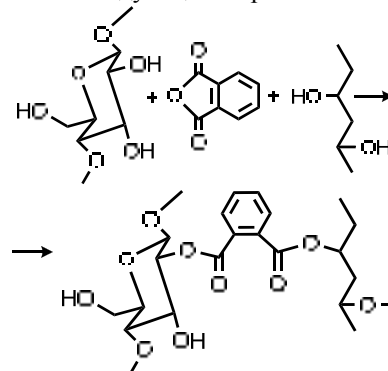
<sup>a</sup> содержание целлюлозы в *suji* ~40 %; целлюлоза (1 звено ангидрогликозы) = 162 г/моль; ПВХ (мономер) = 44 г/моль; ФА = 148 г/моль.



**Рис. 2 - Потери массы отпрессованной в горячем состоянии древесной муки (соединение А) и композиты из древесных отходов — ПВХ (В - G) после 180 дней испытания на гнилостойкость выдерживанием в земле [27]**

При этом с ростом содержания ФА в ДПК снижение значений механических свойств композитов происходило в меньшей степени.

Роль ФА в формировании структуры и свойств ДПК авторы статьи объясняют реакциями сшивания между фибриллами и микрофибриллами через цепи молекул ПВХ. Схему этих реакций можно представить следующим образом:



N.Teramoto с коллегами [28] исследовал получение плёнок на основе полисахарида пуллулана и ПВХ. При различных соотношениях пуллулана и ПВХ компоненты плохо совмещались. Введение диальдегида глиоксаля в состав смеси пуллулана и ПВХ в массовом соотношении 40:60 в результате реакций сшивки привело к получению однородной плёнки с высокими значениями прочности и модуля растяжения.

L.Goetz с соавторами [29] при получении плёнок из ПВХ и нитевидных нанокристаллов целлюлозы использовали в качестве сшивающего агента сополимеры метилвинилового эфира с малеиновой кислотой. Полученные материалы способны поглощать до 900 % воды и могут быть использованы в качестве гидрогелей.

Предлагается получать изделия с повышенной скоростью биоразложения (сельскохозяйственную плёнку, водоудерживающие листы, ленты, компостные мешки, горшки для рассады и другие),

используя смеси ПВС и целлюлозосодержащих наполнителей с дрожжами, из которых удалены нуклеиновые кислоты [30].

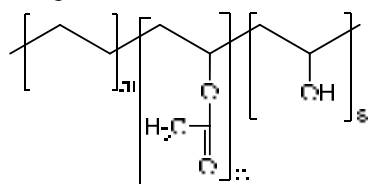
Несколько работ были посвящены изучению возможности использования ПВС в составе ДПК не в качестве матрицы, а для другого назначения.

В патенте США [31] для получения методом экструзии ДПК улучшенного качества при более низких температурах предложено использование ПВС в качестве компатибилизатора (агента совместности, агента адгезии), способного образовывать водородные связи с химическими группами древесных частиц и хорошо совмещающего с полиолефинами (полипропиленом).

Индийские учёные R. R. N. Sailaja и M. Chanda [32] описывают применение ПВС как компатибилизатора для получения ДПК с полимерной матрицей на основе смеси полимолочной кислоты и крахмала.

В патенте Китая [33] предлагается использовать поливиниловый спирт в качестве пластификатора при получении ДПК.

Из синтетических гидроксилсодержащих полимеров для получения биоразлагаемых ДПК использовали не только ПВС и сополимеры винилового спирта с винилацетатом, но и сополимеры винилового спирта с этиленом (СЭВС). В промышленных условиях СЭВС получают гидролизом сополимеров этилена и винилацетата (СЭВА, сэвилены). Строение макромолекул СЭВС можно представить следующим образом:



В работе A. Vargas и других [34] приводятся результаты исследований ДПК, полученных экструзией и литьем под давлением из смесей СЭВС и глицерина с банановой мукой. В работе использовался промышленный образец СЭВС с содержанием этилена 44 % мол. Доля глицерина в композиции во всех экспериментах составляла 15 % мас., а доля СЭВС изменялась в диапазоне 15-45 % мас. (остальное – банановая мука). Целью исследования являлось установление влияния содержания СЭВС, относительной влажности и температурных условий хранения на механические свойства и микроструктуру полученных композитов, а так же их биоразложение.

Полученные композиты имели хорошие механические свойства и гладкую поверхность, что свидетельствует об отличной совместности между мукой, СЭВС и глицерином. С увеличением содержания банановой муки в композитах, уменьшались прочность на разрыв и относительное удлинение при разрыве, сопровождаясь увеличением модуля Юнга. Анализ методом электронной сканирующей микроскопии композитов, оставленных в компосте в течение 8 недель, показал быстрое разрушение их

поверхности и ухудшение свойств материала с течением времени. Выдержка композита с содержанием банановой муки 60% при повышенных температурах и влажности приводит к увеличению их биоразлагаемости, которая определялась по выделению углекислого газа в ходе биодеструкции.

J.-P. Kim с коллегами [35] исследовали СЭВС в качестве компатибилизаторов при получении ДПК на основе соснового древесного опила и линейного полиэтилена низкой плотности при их массовом соотношении 1:1. Содержание СЭВС в ДПК составляло 1-10 % мас. от древесины. Были использованы лабораторные образцы СЭВС с различным содержанием звеньев винилового спирта в сополимере (2, 8, 15 и 30 % мол.), полученные гидролизом сополимеров этилена и винилацетата (СЭВА). Определено влияние содержания звеньев винилового спирта в СЭВС и их доли в рецептуре композиции на механические свойства образцов ДПК, полученных горячим прессованием в течение 5 минут при температуре 160 °С под давлением 3,5 МПа. Показано, что эффекты действия СЭВС отличаются от СЭВА. Так, например, при введении в состав композиции СЭВС у ДПК падает относительное удлинение при разрыве при пределе текучести, а при использовании СЭВА наоборот, растёт. Установлено, что наилучшие значения механических свойств ДПК получаются при использовании СЭВС, содержащего 15% мол. звеньев винилового спирта при содержании СЭВС в композите 3% мас. от древесины. Методом ИК-Фурье спектроскопии доказано образование водородных связей между древесным наполнителем и СЭВС. Улучшение адгезии полимерной матрицы и древесных частиц подтверждено данными сканирующей электронной микроскопии. В целом авторы исследований считают, что использование СЭВС вместо СЭВА в качестве добавки улучшающей адгезию, более эффективно.

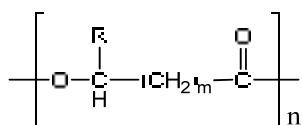
Эффективность действия СЭВС как компатибилизатора показана R.R.N.Sailaj с коллегами, для плёнок, полученных из линейного полиэтилена низкой плотности и крахмала, пластифицированного глицерином и водой [36] и смесей порошка этилцеллюлозы с СЭВА [37].

С целью повышения скорости биодеструкции ДПК, а иногда и для удешевления полимерной матрицы композита используют смеси полимеров. Описаны результаты исследований композитов, в состав которых к СЭВС добавляли крахмал [10, 38, 39].

Из синтетических полимеров, содержащих в своем составе эфирные группировки в основной цепи или в боковых заместителях, при получении биоразлагаемых ДПК использовали полимеры и сополимеры алифатических оксикарбоновых кислот и их производных [25, 30, 32, 42-55], сложных эфиров алифатических дикарбоновых кислот [25, 30, 45, 49], алифатических полигликолей [25], виниловых эфиров [35, 37, 51].

Наибольшее применение из биоразлагаемых полиэфирных полимерных матриц получили слож-

ные эфиры алифатических оксикислот общей формулы [10]:



где  $m = 0, 1, 2, 3$  и  $R = \text{H}, \text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5$ .

В промышленности эти полиэфиры получают не из оксикислот, а из их производных - димерных лактидов и циклических лактонов. Поэтому довольно часто полимеры оксикислот называют полилалканоатами [10]. Полиэфиры оксикислот и композиты на их основе нашли практическое применение в медицине [40], при получении упаковки для медицинских препаратов, косметических средств, пищи. Главные области применения самых дешевых композитов на основе полимолочной кислоты [25, 30, 41-51] – упаковка (сумки, тара для пищевых продуктов), одноразовые бутылки, стаканчики для молока, соков, воды. Из полимолочной кислоты (ПМК) также изготавливают игрушки, корпуса сотовых телефонов, компьютерные мышки и ткани [41, 42]. Изменяя химическое строение полиэфирных звеньев ( $m, R$ ) или получая сополиэфиры, можно управлять свойствами полимеров и композитов.

В обзоре S.S.Ray, M.Bousmina [43] показано, что введение в состав композитов с полимолочной кислотой (ПМК) и другими биоразлагаемыми полимерами даже небольших количеств силикатных наночастиц (глин) позволяет управлять не только физико-механическими свойствами, но и скоростью биодеструкции нанокомпозитов с учётом требований потребителей. Основной проблемой для применения биоразлагаемых нанокомпозитов является снижение затрат на их производство.

На основании результатов исследований физико-механических свойств и морфологии материалов, полученных из ПМК и волокон тополя, в сравнении с материалами с полипропиленовой матрицей, M. S.Huda с коллегами [44] считают композиты с полимолочной кислотой перспективными для автомобилестроения и упаковки. Механические свойства композитов с ПМК улучшаются при использовании компатибилизатора – полипропилена с группировками ангидрида малеиновой кислоты.

В европейском патенте [45] заявлен способ получения композитов на основе ПМК и волокон однолетнего травянистого растения кенаф с добавками гидрофильно-лиофильного компатибилизатора для изготовления внутренних частей автомобилей (наличник двери, приборная доска, покрытие стоек и другие элементы) внутренних поверхностей других транспортных средств, строений (внутренние стенные материалы, настилы пола и другие материалы), поверхностных облицовочных материалов для мебели.

E.Stromberg и S.Karlsson [47] сравнили процессы биодеструкции ДПК, полученных из древесной муки и целлюлозных волокон с несколькими полимерными матрицами: ПМК (25 % древесной муки); полипропилен (50 % древесной муки); вто-

ричный полипропилен (10 % целлюлозы и волокон конопли в массовом соотношении 1:1). Результаты исследований показали, что при воздействии на ДПК смесей грибов и морских водорослей в ДПК с полипропиленовой матрицей биодеструкции подвержен только наполнитель на поверхности материала, а в композитах с полимолочной кислотой биодеструкция наблюдается у всех компонентов по всему объёму.

В работе A.K. Bledzki и A. Jaszkwicz [48] проведено сравнение физико-механических свойств композитов, полученных литьем под давлением из смеси различных целлюлозосодержащих волокон с термопластами: пропиленом, ПМК и поли(3-гидроксibuтират-со-3-гидроксивалериатом). Методом сканирующей электронной микроскопии установлено, что у композитов с полиэфирной матрицей наблюдается лучшее совмещение с наполнителями по сравнению с полипропиленом. Композиты с ПМК показывают намного более высокие значения механических свойств по сравнению с композитами на основе полипропилена, однако, нужно учесть, что новый материал теряет эти преимущества при температурах выше температуры стеклования ПМК. Поэтому, композиты с ПМК технически применимы при температурах не выше +50 °С.

Из полилалканоатов для получения ДПК использовались также полимеры и сополимеры гидроксibuтановой и гидроксивалериановой кислот и  $\square$ -капролактона [25, 30, 52-55].

H.Nitz с коллегами [52] изучили свойства ДПК, полученных с поликапролактоном и наполнителями древесной мукой (10-50 %) и лигнином (10-70 %). В качестве компатибилизатора использовался привитой сополимер поликапролактама и малеинового ангидрида. Установлено, что прочность ДПК на растяжение и модуль Юнга возрастают с увеличением доли древесной муки и в меньшей степени лигнина. Композиты на основе древесной муки подвергаются биоразложению в почве через 4 недели, а лигнинсодержащие композиты в этот период устойчивы к биоразложению.

S.-H.Lee и T.Ohkita [53] для композитов, полученных из поликапролактона и древесной муки в массовом соотношении 50:50 в присутствии 5 % компатибилизатора – привитого сополимера поликапролактона и малеинового ангидрида, изучили биоразложение в почве, состоящей из горшочной глины, гумуса и вермикулита в соотношении 8:1:1. Результаты экспериментов показали, что ДПК в этой среде за 6 недель подвергаются биодеградации более 40 %, независимо от наличия в их составе компатибилизатора.

C.-S.Wu [54] различными методами изучал совместимость поликапролактона с древесной мукой. Установлено, что при использовании поликапролактона с привитыми группами акриловой кислоты диспергируемость древесной муки в полимерной матрице значительно улучшается, что способствует улучшению механических и термических свойств ДПК и технологичности композиций.

Q.Zhao с коллегами [55], изучая свойства и биодegradацию в почве ДПК на основе поликапролактона и рисовой шелухи установили, что присутствие наполнителя в композите может ускорить биоразложение матрицы поликапролактона. Этот эффект ускорения возрастает с увеличением содержания наполнителя в композите. Авторы объясняют обнаруженный эффект подавлением кристаллизации поликапролактона в присутствии наполнителя и усилением гидролитического воздействия на полимеры деполимеризации субстрата.

Заявлены и описаны способы получения биоразлагаемых ДПК с полимерными матрицами на основе сложных эфиров дикарбоновых кислот: сукциновой, адипиновой и других [25, 30, 45, 49].

В работе D.V.Cong с коллегами [51] описывается применение для получения биоразлагаемых ДПК полимерной матрицы из смеси полимолочной кислоты с сополимером этилена и винилацетата (СЭВА). Авторы предполагали уменьшить такой недостаток ПМК, как жесткость, используя СЭВА, и таким образом получить ДПК, пригодные для упаковки. Результаты исследований морфологических, физико-механических свойств и биодegradации в почве полученных ДПК показали, что на биоразложение композитов оказывает влияние характер деформаций.

## **2. Биоразлагаемые ДПК со связующими на основе природных полимеров**

Одним из самых известных природных полимеров, используемых в качестве полимерной матрицы биоразлагаемых композитов, является крахмал и продукты его химической модификации [7-13].

При получении биоразлагаемых ДПК крахмал и его производные использовались в качестве полимерной матрицы или доступных добавок, снижающих стоимость композитов [23, 25, 30, 39, 56-60].

М.Е. Gomes и другие [56] предложили новый метод получения литым под давлением половым настилов на основе тканей и кукурузного крахмала. На основании полученных результатов исследований морфологии, физико-механических свойств и биодеструкции полученных композитов, авторы считают, что после проведения оптимизации предложенная технология может найти практическое применение.

С целью упрочнения полимерных гелей и плёнок на основе крахмала W.J.Orts с коллегами [57] исследовали влияние добавок целлюлозных волокон (2-10 %) на механические свойства композитов. Результаты исследований показали, что прочность при растяжении и сжатии полученных композитов улучшается в меньшей степени при использовании микрофибрилл бактериальной целлюлозы по сравнению с хлопковой целлюлозой и целлюлозой хвойной древесины. По мнению авторов, требуется дальнейшее изучение поведения заряженной полимерной матрицы с целлюлозными наполнителями.

F. Vilasaca с коллегами [58] в качестве наполнителей при получении биоразлагаемых ДПК с крахмалом использовали волокна джута, которые

подвергали делигнификации с помощью едкого натра. Результаты их исследований показали, что делигнификация джутовых волокон повышает жесткость композитов, что авторы связывают с водородными связями между матрицей крахмала и наполнителем.

В работе M.Morreale и других [59] изучалось влияние размеров и содержания частиц древесной муки на физико-механические свойства композитов с полимерной матрицей на основе кукурузного крахмала семейства Mater-Bi® [10]. Результаты исследований показали, что древесный наполнитель придаёт жесткость композиту, которая мало зависит от коэффициента формы частиц древесной муки (соотношения длины и диаметра частиц). Высокое водопоглощение полученных ДПК, авторы объясняют поведением полимерной матрицы и поэтому рекомендуют полученные композиты только для применения внутри помещений.

H.Kinoshita с коллегами [60] исследовали физико-механические свойства биоразлагаемых ДПК, полученных из смесей древесных частиц и бамбуковых волокон различных размеров с кукурузным крахмалом, модифицированным по гидроксильным группам жирными кислотами (марка Landy CP-100). Полученные результаты экспериментов показали, что водостойкость и механические свойства улучшаются при введении в композит бамбуковых волокон.

С целью улучшения свойств ДПК предлагается использовать различные сшивающие агенты крахмала [33]: кислоты, альдегиды, эпихлоргидрин.

Для получения биоразлагаемых ДПК с матрицами на основе природных полисахаридов можно применять не только крахмал, но и целлюлозу, хитин, хитозан, декстраны, глютен [25, 30, 61].

Привлекают внимание исследователей при получении биоразлагаемых ДПК и полимерные матрицы на основе аминокислот и амидов [25] и полиуретанов [62].

Таким образом, данные обзора показывают, что во многих странах проводятся многоплановые исследования по получению и изучению свойств биоразлагаемых древесно-полимерных композитов, которые могут найти разнообразное применение, например, в качестве материалов для упаковки, изделий для транспортного машиностроения, строительства, производства мебели. Для получения биоразлагаемых ДПК используют различные целлюлозные и лигнинсодержащие наполнители и подверженные биодegradации полимерные матрицы на основе синтетических и природных полимеров. Основная проблема, которая сдерживает расширение производства и применения биоразлагаемых ДПК, связана с их высокой ценой, которая определяется стоимостью биодegradируемой полимерной матрицы.

## **Литература**

1. Вигдорович, А.И. Древесные композиционные материалы в машиностроении: Справочник / А.И.Вигдорович, Г.В.Сагалаев, А.А.Поздняков - М.: Машиностроение, 1991. - 240 с.