

Введение Основным видом наполнителя при производстве древесно-полимерных композитов с термопластичными связующими (ДПКт) является древесная мука [1]. Много исследований посвящено изучению возможности замены древесной муки на более дешевые наполнители растительного происхождения и целлюлозсодержащие отходы [1-4]. В исследованиях в состав ДПКт целлюлозсодержащие отходы вводились, в основном, в виде волокон. При этом было установлено, что целлюлозные волокна с трудом распределяются в полимерной матрице ДПКт и плохо с ней совмещаются. К недостаткам длинных целлюлозных волокон в качестве наполнителя ДПКт относят также высокое поглощение влаги и набухание [1]. Для устранения этих недостатков проводят поиск эффективных компатибилизаторов и химическую модификацию целлюлозных волокон [1, 5-7]. Одним из крупнотоннажных видов целлюлозсодержащих отходов является бумажная макулатура, которая не используется при производстве бумаги и картона, в основном, из-за преимущественного содержания коротких целлюлозных волокон и их ороговения или различных добавок. Целью данной работы является изучение возможности получения и свойств ДПКт с полиэтиленовой матрицей при использовании наполнителя в виде муки, полученной при измельчении макулатуры. Экспериментальная часть В качестве полимерной матрицы ДПКт использовались полиэтилен низкого давления марки 273-83 (ГОСТ 16338-85) производства ОАО «Казаньоргсинтез» (ПЭНД). В качестве наполнителя применялась мука лиственных пород (преимущественно берёзы) марки 180 (ГОСТ 16361-87), производитель ООО «Юнайт» (ДМБ), мука, полученная в лабораторных мельницах при измельчении газетной макулатуры (МГ) и специальной макулатуры из бумажных денежных знаков, выведенных из обращения (МД). Краткая характеристика наполнителей приведена в таблице 1. Массовое соотношение между наполнителем и полимерной матрицей составляло 50:50. Смешение компонентов ДПКт производилось на лабораторном экструдере марки ЛЭРМ-1 при температуре 180 - 190 оС. Полученная после экструдирования древесно-полимерная смесь (ДПС) охлаждалась до комнатной температуры, а затем нарезалась на гранулы. После этого методом горячего прессования из ДПС при температуре 190 оС и давлении 15 МПа получали композиты в форме дисков диаметром 90 и толщиной 5 мм или пластин размером 150×100×5 мм. Из полученных композитов изготавливались образцы (не менее трёх для каждого состава) для испытаний физико-механических свойств полученных ДПКт. Показатель текучести расплава (ГОСТ 11645-73) используемых в работе ПЭНД и полученных ДПС определялся на приборе ИИРТ-А (ГОСТ 11645-73) при внутреннем диаметре капилляра 2,095 и 4 мм. Твердость по Бринеллю (НВ) и контактный модуль упругости (КМУ) образцов определяли на твердомере модели БТШПСР У42 по вдавливанию шарика диаметром 5 мм при нагрузке 132 Н. Для определения ударной вязкости ДПКт (а) готовились образцы размером

15×10 мм. Для определения ударной вязкости с надрезом (ан) поперек образца композита полотном для резки металлов наносился надрез шириной 0,7 мм на глубину 1,5 мм. Испытания проводились на приборе “Динстат-Дис”. Для определения показателя прочности при изгибе ( $\sigma$ ) готовились образцы с длиной и шириной 15×10 мм. Испытания проводились на приборе “Динстат-Дис” при консольном закреплении образца. Определение относительного удлинения при растяжении ( $E$ ) и предела прочности при разрыве ( $\sigma_r$ ) образцов производилось на разрывной машине для испытания пластмасс модели 2166 P-5 (точность измерения усилия 0,1 Н, скорость нагружения 50 мм/мин). Образцы ДПКт готовили в виде лопаточек с длиной 100 мм и шириной рабочей части 6 мм. Для изучения морфологии ДПКт методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) использовался растровый электронный микроскоп марки JSM-6390LA (JEOL, Япония), дополнительно снабженный приставкой EDAX (энергодисперсионный анализатор характеристического рентгеновского излучения). Результаты и обсуждение Анализ фотографий электронной сканирующей микроскопии наполнителей показал, что частицы измельченной макулатуры МГ и МД сопоставимы по размерам с частицами древесной муки, но отличаются скрученной формой и сцеплением (слипанием друг с другом), что затрудняет определение их линейных размеров. Мука из макулатуры имеет небольшую насыпную плотность и не поддается ситовому анализу. Массовая доля золы, определенная по ГОСТ 16361-87, составила для ДМБ - 0,5 %, МГ - 3 %, МД - 4 %. Средние арифметические значения линейных размеров частиц (объем выборки 50), определенные по фотографиям СЭМ, составили (мкм): длина - 98, ширина - 11, коэффициент формы [1] - 8,8. Для оценки технологических свойств ДПС с древесной берёзовой мукой и мукой из макулатуры были изучены их реологические свойства при температуре 170 и 185 оС и нагрузках 49 и 98 Н при внутреннем диаметре капилляра 4 мм. Зависимости десятичных логарифмов сдвиговой вязкости смесей ( $\eta$ , Па•с) от десятичных логарифмов скорости сдвига ( $\dot{\gamma}$ , с<sup>-1</sup>) при температуре 185 оС в области невысоких напряжений сдвига (порядка 20 Па) описываются следующими линейными уравнениями:  $\log \eta_{\text{ДМБ}} = 1,0038 - 0,4357 \log \dot{\gamma}$ ;  $\log \eta_{\text{МГ}} = 1,2023 - 0,5299 \log \dot{\gamma}$ ;  $\log \eta_{\text{МД}} = 1,1995 - 0,539 \log \dot{\gamma}$ . Их этих зависимостей следует, что исследованные ДПС по реологическим свойствам относятся к неньютоновским жидкостям. При этом ДПС с мукой из макулатуры имеют большее значение сдвиговой вязкости по сравнению со смесью с берёзовой древесной мукой. Средние арифметические результаты измерений свойств полученных ДПКт показали следующее (таблица 1). Из данных табл. 1 следует, что ДПКт с наполнителем из специальной макулатуры МД по всем показателям (за исключением относительного удлинения) превосходят композит с широко применяемым наполнителем, древесной берёзовой мукой ДМБ, и по ряду показателей - композит с сосновой древесной мукой [8]. Композит с наполнителем из газетной макулатуры МГ, не смотря на

более высокую плотность, уступает ДПКт с древесной мукой ДМБ по показателям механической прочности, твёрдости и водопоглощения, превосходя его по относительному удлинению. Таблица 1 - Физико-механические свойства ДПКт

Показатели свойств	Наполнитель МГ	ДМБ	МД
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1051	1169	1090
Предел прочности при растяжении ( $\sigma_r$ ), МПа	11,3	9,5	11,7
Предел прочности при изгибе по Динстат-Дис ( $\sigma_i$ ), МПа	22,2	17,3	25,7
Контактный модуль упругости (КМУ), МПа	497	560	776
Относительное удлинение (E), %	9,2	10,0	9,0
Твердость по Бринеллю (НБ), МПа	52,6	46,6	62,2
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup> : без надреза (а)	5,2	5,8	6,4
с надрезом (ан)	4,6	4,0	5,6
Водопоглощение за 24 ч, %	2,4	3,4	0,5

Низкое водопоглощение ДПКт с МД наблюдается не только за 24ч, но и в течение 33 суток (рис. 1). Рис. 1 - Водопоглощение ДПКт с наполнителями: 1 - МГ, 2 - ДМБ, 3 - МД Фотографии сканирующей электронной микроскопии сколов полученных ДПКт с напылением золотом показали (рис. 2), что для для композита с МД наблюдается более однородная структура, что свидетельствует о хорошем совмещении наполнителя с полиэтиленовой матрицей. Вероятно, что повышенные водостойкость и физико-механические показатели ДПКт с МД обусловлены не только наличием в составе бумажных денежных знаков специальных добавок, обладающих гидрофобными свойствами, и ороговением целлюлозы. Рис. 2 - Фотография СЭМ ДПКт с МД (x100) Заключение Полученные результаты исследований показали, что возможна замена в составе ДПКт с полиэтиленовой матрицей берёзовой древесной муки марки 180 на муку из специальной макулатуры МД, полученную из бумажных денежных знаков вышедших из обращения. При этом достигается улучшение большинства показателей свойств композитов.