

И. Н. Мусин, И. З. Файзуллин, В. В. Новокшенов,  
С. И. Вольфсон

## ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО - ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

*Ключевые слова:* древесно-полимерный композит, полипропилен, полиэтилен, поливинилхлорид, древесная мука, физико-механические свойства, микротомография.

*Приведены результаты оценки свойств исходных полимеров и свойств полученных ДПК. В качестве объектов исследования были выбраны промышленно выпускаемые ДПК на основе различных полимеров. Для анализа структуры ДПК использовалась компьютерная микротомография – один из достаточно новых неразрушающих методов для изучения объемного строения композитов с использованием рентгеновского излучения. Для оценки общей долговечности и поведения готовых изделий в реальных условиях эксплуатации проводили испытания в специальных аппаратах искусственной погоды (везерометрах).*

*Keywords:* wood-polymer composite, polypropylene, polyethylene, polyvinyl chloride, wood flour, physical and mechanical properties, microtomography.

*The results of evaluation of the properties of the starting polymers and properties received WPC. As objects of study were selected commercially available WPC based on different polymers. To analyze the structure of WPC using computer microtomography - one of enough new non-destructive methods for the study of the bulk structure of composites using X-rays. To assess the overall durability and behavior of finished products in actual use tests were carried out in special devices artificial weather (weatherometer).*

### Введение

Древесно-полимерные композиты (ДПК) находят широкое применение во многих отраслях промышленности. Это обусловлено эстетическими свойствами и удобством использования изделий из ДПК. Изделия из ДПК хорошо перерабатываются, устойчивы к ультрафиолету, водостойки, обладают хорошими теплоизоляционными свойствами [1]. В России основной объем производства ДПК составляет декиннг. У большинства российских компаний он занимает более 80%. Также ДПК используется в производстве стеновых панелей, подоконников, дверей, заборов и отделочных материалов.

ДПК состоит из полимерного связующего, органического наполнителя и различных добавок [2]. Свойства ДПК в значительной степени зависят от типа и характеристик выбранного полимера.[3] Это определяет подходы в оптимизации свойств древесно-полимерных композиций – подбор полимерного связующего с целью достижения приемлемых прочностных характеристик ДПК при максимальном наполнении.

Выбор полимера определяется индивидуальными преимуществами и недостатками, присущих изделиям на их основе. ДПК на основе полипропилена (ПП) обладает высокой прочностью, однако хрупкость при пониженных температурах сужает область их использования. ДПК на основе полиэтилена (ПЭ) применяются в широком диапазоне температур, но обладают меньшей прочностью. ДПК на основе поливинилхлорида (ПВХ) обладают максимальной в ряду жесткостью и прочностью, однако требуется введение специальных добавок для снижения токсичности. Что же касается экологии, ПП и ПЭ являются безопасными для окружающей среды. ПВХ обычно считают неблагоприятным для окружающей среды.

Несмотря на невысокие механические свойства ПЭ по сравнению с ПП и ПВХ, он является самым распространенным полимером, используемым в производстве ДПК.

Структура рынка ДПК представлена на рис.1.[4] Производителями при выборе связующего предпочтение отдается полиэтилену (53,5%). На втором месте – ПВХ (21,4%), на 3-ем – полипропилен (17,9%).



Рис. 1 - Соотношение ДПК в зависимости от типа связующего

Преимущества и свойства ДПК на основе различных полимерных связующих широко освещаются производителями.[5,6,7,8,9] Однако в литературе мало встречается информации о поведении ДПК различных производителей в процессе эксплуатации. Представлялось важным провести сравнительную оценку структуры и поведения в процессе эксплуатации некоторых наиболее массово промышленно выпускаемых ДПК на основе различных связующих.

### Экспериментальная часть

Свойства композиций в значительной степени зависят от характеристик исходных полимеров

(табл.1). Представлялось важным оценивать свойства исходных полимеров и свойства полученных ДПК. Прочностные свойства ДПК в значительной степени зависят от вида базового полимера [3].

**Таблица 1 - Основные свойства термопластов, используемых в производстве ДПК**

Показатели	ПЭНП	ПЭВП	ПП (гомополимер)	ПВХ (жесткий)
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,910-0,925	0,941-0,965	0,9-0,91	1,32-1,44
Предел прочности при изгибе, МПа	Не разрушается	~9,7 или не разрушается	41-48	42 до 69 - 110
Модуль упругости при изгибе, МПа	207 - 345	862 - 1655	1138-1999	2414-4137
Предел прочности при сжатии, МПа	Не разрушается	32	47	75
Модуль упругости при растяжении, ГПа	2 - 5	2 - 5	4-8	5 - 7
Водопоглощение через 24 ч, %	< 0,01	<0,01	0,008	0,1
Атмосферостойкость	Средняя	Средняя	Средняя	Хорошая при светлой окраске

В качестве объектов исследования были выбраны промышленно выпускаемые ДПК на основе различных полимеров. Для изучения в качестве представителей ДПК на основе ПЭ были выбраны террасные доски Мультидек (производитель Мультипласт, Россия) и Terrapol (Россия). В дальнейшем они будут обозначаться ДПК-ПЭ1 и ДПК-ПЭ2. ДПК марки Newwood (Россия) на основе ПП и Holzdorf (Украина) на основе ПВХ будут обозначаться ДПК-ПП и ДПК-ПВХ соответственно. Некоторые свойства исследуемых ДПК представлены в табл. 2. Данные взяты из информации производителей, представленных в открытых источниках.

Для анализа структуры ДПК использовалась компьютерная микротомография – один из достаточно новых неразрушающих методов для изучения объемного строения композитов с использованием рентгеновского излучения. Он позволяет достичь визуализации трехмерной внутренней микроструктуры изучаемого объекта. Являясь неинвазивным методом и позволяя получать данные с разрешением от десятков нанометров до миллиметров, данная методика была выбрана для оценки структуры ДПК. Исследования производились на рентгеновском микротомографе SkyScan 1172 [10].

Оценка долговечности и стойкости к атмосферным воздействиям древесно-полимерных ком-

позитов была проведена по стандартной процедуре теплового старения полимеров, подвергаемых окислительной деструкции (ASTM D 5510), а так же стандартным методом для осуществления естественного погодного воздействия на полимеры (ASTM D 1435) и природным старением (EN ISO 877) на аппарате искусственной погоды везерометр Q-SUN производства компании Q-Lab Corporation (США).

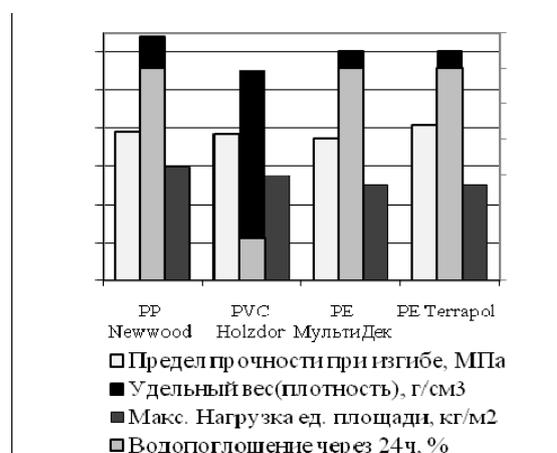
**Таблица 2 - Свойства ДПК [5,6,7,8,9]**

Показатели	ДПК-ПЭ1	ДПК-ПЭ2	ДПК-ПП	ДПК-ПВХ
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1200	1200	1275	1150
Водопоглощение через 24 часа, %	3	3	3	0,6
Предел прочности при растяжении, МПа	23	~22	16,1	20
Предел прочности при изгибе, МПа	48,8	51	50	49
Макс. нагрузка на ед. площади, кг/м <sup>2</sup>	500	500	600	550
Термостойкость, °С	от -45 до +80	от -50 до +70	от -60 до +70	от -60 до +80

### Обсуждение результатов

На поведение изделий в процессе эксплуатации влияет множество факторов. Безусловно, это выбор связующего, степень наполнения, размер частиц и природа наполнителей. Производители также используют специальные добавки для улучшения совместимости и технологичности. Поэтому при сравнении ДПК важно учитывать не только физико-механические свойства, но и поведение изделий в процессе эксплуатации.

На рис.2 представлены некоторые свойства изученных ДПК.

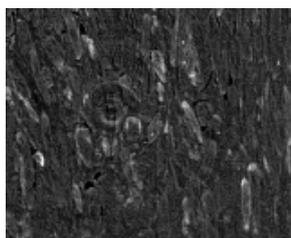


**Рис. 2 - Сравнение некоторых свойства ДПК (предел прочности при изгибе, удельный вес, макс. нагрузка площади, кг/м<sup>2</sup>, водопоглощение)**

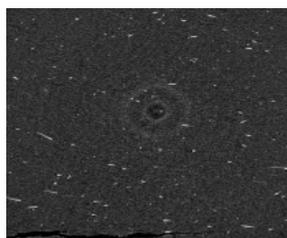
Как видно из представленных данных, сравнительный ряд удельного веса изделий из ДПК отличается от ряда плотности исходных полимеров. Это свидетельствует о разной степени наполнении ДПК. Значительное отличие в водопоглощении изделий через 24 часа подтверждает данный вывод. Вклад в данный показатель вносит также размер частиц.

Для анализа ДПК помимо традиционных физико-механических и эксплуатационных характеристик важно оценить размер и характер распределения наполнителя.[10] Поэтому была проведена микротомография исследуемых образцов древесно-полимерных композитов на рентгеновском микротомографе SkyScan 1172 (рис.3).

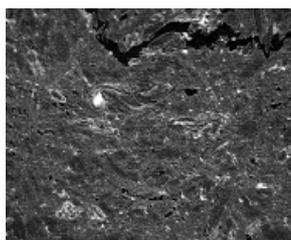
а) ДПК-ПЭ1



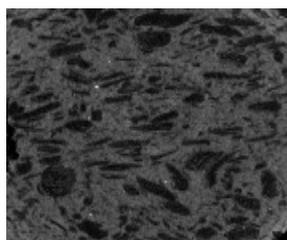
б) ДПК- ПЭ2



в) ДПК-ПП



г) ДПК-ПВХ



**Рис. 3 - Фотографии структуры ДПК с различным типом связующего, полученные с помощью микротомографии**

Как видно из рис. 3 с помощью микротомографии можно оценить распределение наполнителей, размер частиц наполнителя, наличие пор, гомогенность изученных композиций. Максимальный размер частиц наблюдался у композиций ДПК-ПЭ1 и ДПК-ПВХ. Минимальный размер частиц и лучшее распределение наполнителя демонстрирует ДПК-ПЭ2. Наиболее гомогенную структуру демонстрируют композиции ДПК-ПЭ и ДПК-ПВХ.

Для потребителя помимо прочностных характеристик важнейшее значение имеет поведение изделий в процессе эксплуатации. Коробление и выцветание являются основными дефектами, проявляющиеся в процессе эксплуатации.

Для оценки общей долговечности и поведения готовых изделий в реальных условиях эксплуатации проводили испытания в специальных аппаратах искусственной погоды (везерометрах). В лабораторных условиях моделировали интенсивное воздействие солнечного света, дождя, образование конденсата и температурные перепады, проводя оценку светостойкости покрытий, материалов и изделий под воздействием солнца, дождя и температурных перепадов.

Условия испытаний на светостойкость и атмосферостойкость образцов соответствовали эксплуатации под дождем и солнцем в течении 2,5 лет. Внешний вид изделий после испытаний представлен на рис. 4.

а) ДПК-ПЭ1



б) ДПК-ПЭ2



в) ДПК-ПП



г) ДПК-ПВХ



**Рис. 4 - Старение террасной доски**

Как видно из рис.4 максимальную сохранность геометрических размеров демонстрирует образец ДПК-ПЭ2. Достаточно удовлетворительное поведение демонстрирует образцы ДПК-ПВХ.

### Выводы

Представленные на рынке промышленно выпускаемые ДПК отличаются типом связующего, размером частиц наполнителя, характером распределения и гомогенностью. Важно учитывать данные параметры наряду с прочностными характеристиками. Климатические испытания изделий из ДПК демонстрируют наиболее высокую долговечность образца ДПК – ПЭ2 с хорошей гомогенностью и минимальным размером частиц. При этом базовый полимер в данном композите обладает минимальной прочностью в исследованном ряду ДПК. Также некоторые недостатки связующего можно компенсировать конструкцией профиля.

### Литература

1. Мусин И.Н. Влияние добавок на свойства древесно-полимерных композитов / И.Н. Мусин, И.З. Файзуллин, С.И. Вольфсон // Вестник Казан. технол. ун-та - 2012. – Т 15. №. 24, вып: вып. 24. - С. 97 - 99.
2. Файзуллин И.З. Влияние размера частиц наполнителя на свойства древесно-полимерных композитов/ И.З. Файзуллин, И.Н. Мусин, С.И. Вольфсон // Вестник Казан. технол. ун-та - 2013. – Т. 16. №. 5, вып: вып. 5. - С. 106 – 109.
3. Вольфсон С.И. Модифицированные древесно-полимерные композиты / С.И. Вольфсон И.Н.Мусин, И.З.Файзуллин, Т.З.Лыгина, Ф.А. Трофимова // Пластические массы - 2014, - № 1-2. - С. 41 - 44.
4. Электронный ресурс /<http://www.creonenergy.ru/consulting.html>
5. Электронный ресурс / [http://tat-plast.ru/stati/preimuwestva\\_terrasnoj\\_doski\\_dpk/](http://tat-plast.ru/stati/preimuwestva_terrasnoj_doski_dpk/) html
6. Электронный ресурс / <http://terrapol.ru/index.html>

7. *Электронный ресурс* / <http://newwood.ru/proizvodstvo.html>
8. *Электронный ресурс* / <http://www.holzdorf.org/terras.html>
9. *Электронный ресурс* / <http://www.dpk-deck.ru/page/sostav.html>

10. *Разина И.С.* Применение микротомографии для исследования новых материалов / И.С. Разина, С.Г. Семенова, А.Г. Саттаров, И.Н. Мусин // Вестник Казан. технол. ун-та - 2013. – Т. 16. №. 19. - С. 163 - 169.

---

© **И. Н. Мусин** – к.т.н., доц., зав. каф. ТОМЛП КНИТУ, [imusin@kstu.ru](mailto:imusin@kstu.ru); **И. З. Файзуллин** – асп. каф. ХТПЭ КНИТУ, [ilnur-fz@mail.ru](mailto:ilnur-fz@mail.ru); **В. В. Новокшенов** - к.т.н., доц. каф. ХТПЭ КНИТУ, [vasianov@mail.ru](mailto:vasianov@mail.ru); **С. И. Вольфсон** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. ХТПЭ КНИТУ, [svolfson@kstu.ru](mailto:svolfson@kstu.ru).

© **I. N. Musin** - associate professor, the Department Chair of Technology, Medical Equipment and Light Industry department of Kazan National Research Technological University, [imusin@kstu.ru](mailto:imusin@kstu.ru); **I. Z. Fayzullin** – PhD student, the Chemistry and Processing Technology of Elastomers department of Kazan National Research Technological University, [ilnur-fz@mail.ru](mailto:ilnur-fz@mail.ru); **V. V. Novokshonov** - associate professor, the Chemistry and Processing Technology of Elastomers department of Kazan National Research Technological University, [vasianov@mail.ru](mailto:vasianov@mail.ru); **S. I. Volfson** - Professor, Dr. of science, the Department Chair of Chemistry and Processing Technology of Elastomers department of Kazan National Research Technological University, [svolfson@kstu.ru](mailto:svolfson@kstu.ru).