

На основе полученных экспериментальных данных, описанных выше, разработано прикладное приложение, анализирующее 3D-модель, открытую в САПР КОМПАС-3D. Приложение обладает следующими возможностями: выбор оптимальных параметров печати для модели в зависимости от требуемой шероховатости изделия; поиск мелких элементов, которые не могут быть изготовлены; контроль допустимых габаритов изделия.

#### Список использованных источников

1. Технологии 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ixbt.com/printer/3d/3d\\_tech.shtml](http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml). – Дата доступа: 11.05.2019.
2. Flashforge Finder 3D Printer. UserGuide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.creativetools.se/misc/doc/flashforge/finder/Finder-User-Guide.pdf>. – Дата доступа: 11.05.2019.
3. Flashforge Dreamer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dhubs.com/3d-printers/flashforge-dreamer>. – Дата доступа: 11.05.2019.
4. Farzadi, A. Effect of Layer Thickness and Printing Orientation on Mechanical Properties and Dimensional Accuracy of 3D Printed Porous Samples for Bone Tissue Engineering, PLOS, 2014, № 9.

УДК 677.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЁСТКОСТИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СФОРМИРОВАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА

**Дягилев А.С., к.т.н, доц., Лебёдкин А.С., асп., Путеев Н.В., к.т.н, доц.,  
Полоник Ф.А., маг., Борисова Т.М., к.т.н., доц.**

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

*Реферат. В работе предложен новый однослойный композиционный материал, сформированный с использованием чистольняной преформы для изготовления полустелек, входящих в стелечный узел обуви. Изготовленный композиционный материал по своим прочностным характеристикам близок к требованиям, предъявляемым к обувному полустелечному картону. Предложена экспоненциальная модель, описывающая зависимость нагрузки от деформации, позволяющая осуществлять неразрушающий контроль жёсткости при статическом изгибе образцов композиционного материала.*

**Ключевые слова:** льняное волокно, композиционный материал, прочность при изгибе, регрессионный анализ.

Республика Беларусь занимает около четверти мирового рынка производства льняного волокна и является одним из крупнейших мировых производителей льняных изделий бытового назначения. При этом, на сегодняшний день, отечественными производителями практически не используется потенциал льняного волокна для производства технического текстиля. В тоже время во многих отраслях промышленности растёт спрос на композиционные материалы, сформированные с использованием натуральных лубяных волокон: сизал, джут, пенька и т. д. Такие материалы по своим прочностным характеристикам могут не уступать материалам, сформированным с использованием искусственных волокон, которые широко применяются при производстве композиционных материалов [1–5]. Еще одним немаловажным достоинством является достаточно легкая утилизация материалов, сформированных с использованием натуральных волокон. В связи с этим, актуальной задачей является разработка новых текстильных материалов технического назначения с использованием отечественного льняного волокна.

Одной из сфер применения композиционных материалов является обувная промышленность. Известно, что геленочная часть обуви, которая соответствует наружному своду стопы, играющему роль основной опоры, должна быть хорошо укреплена, иметь определённую жёсткость и не прогибаться под воздействием веса тела человека. При изготовлении обуви для увеличения жёсткости геленочной части обуви наряду с геленками

(стальными пластинами) применяются полустельки, которые проектируются обычно до зоны изгиба стопы, сохраняя тем самым гибкость стелечного узла в этой части. Самые распространённые материалы для изготовления полустелек – картоны повышенной жёсткости [6]. Как показывает опыт работы обувных предприятий, практически все картоны, применяемые при изготовлении жёстких полустелек, импортного производства, поэтому интерес представляет разработка материалов для полустелек с использованием отечественного сырья.

В рамках данной работы проводился сравнительный анализ физико-механических свойств обувного картона для полустелек и однослойного композиционного материала, сформированного с использованием преформы из натуральных волокон.

При формировании композиционного материала использовалась преформа из льняных волокон, представляющая собой чистольняную ткань поверхностной плотности  $258 \text{ г/м}^2$ . Композиционный материал формировался методом импрегнирования, с использованием эпоксидной системы K153 + ПЭПА. Испытание образцов производилось в соответствии с ГОСТ 9187-74 [7], для чего подготавливались образцы композиционного материала размером  $30 \times 150 \text{ мм}$ . Испытания жёсткости при статическом изгибе (трехточечным методом) проводились с использованием универсальной разрывной машины TIME WDW-20E.

На рисунке 1 приведены экспериментальные данные испытания жёсткости при статическом изгибе образцов обувного картона для полустелек MERCKENS CJM 188 (Австрия). Средняя толщина исследованных образцов составляет  $1,7 \text{ мм}$ .

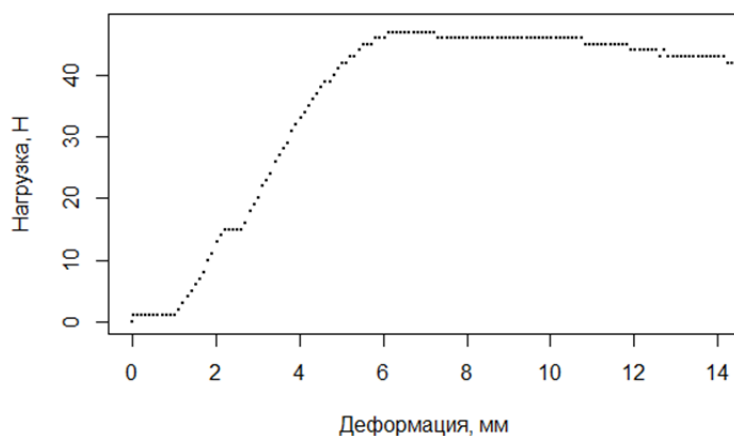


Рисунок 1 – Зависимость жёсткости от деформации обувного картона

Как видно из рисунка, максимум нагрузки, равный  $47 \text{ Н}$ , достигается при величине изгиба образца, равной  $6,13 \text{ мм}$ , после чего происходит необратимое разрушение исследуемого образца.

На рисунке 2 приведены экспериментальные данные испытания жёсткости при статическом изгибе образца однослойного композиционного материала. Средняя толщина исследованных образцов составляет  $1,6 \text{ мм}$ .

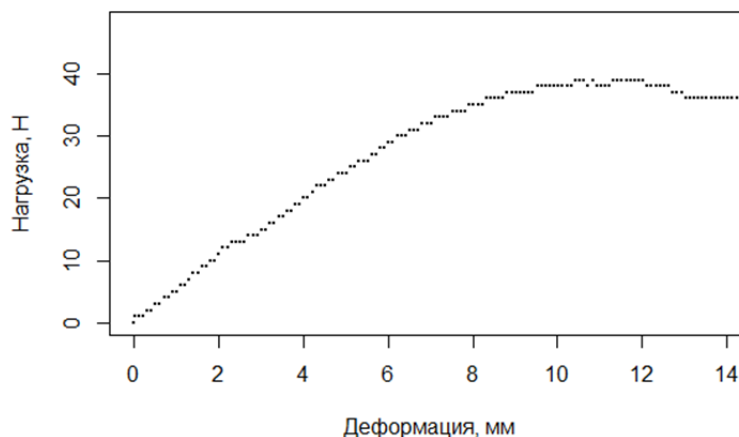


Рисунок 2 – Зависимость нагрузки от деформации однослойного композиционного материала

Как видно из графика, максимум нагрузки, равный 39 Н, достигается при изгибе исследуемых образцов на величину, равную 10,43 мм, после чего также происходит необратимое разрушение. Стоит отметить, что по показателю жёсткости при статическом изгибе полученный композиционный материал соответствует требованиям, предъявляемым к картонам для полустелек обуви ГОСТ 9542 – 89 [6], в соответствии с которым жёсткость при статическом изгибе (для картонов в продольном направлении) должна находиться в интервале 10-180 Н.

На основе полученных экспериментальных данных жёсткости при статическом изгибе и деформации однослойного композиционного материала была подобрана математическая модель [8], описывающая зависимость жёсткости при статическом изгибе от деформации, имеющая вид:

$$L = b_0 D e^{b_1 D^2}, \quad (1)$$

где  $L$  – нагрузка, Н;  $D$  – деформация, мм;  $b_0$ ,  $b_1$  – коэффициенты регрессионной модели. Графическое представление зависимости жёсткости при статическом изгибе от деформации однослойного композиционного материала, полученное согласно формуле (1) представлено на рисунке 3.

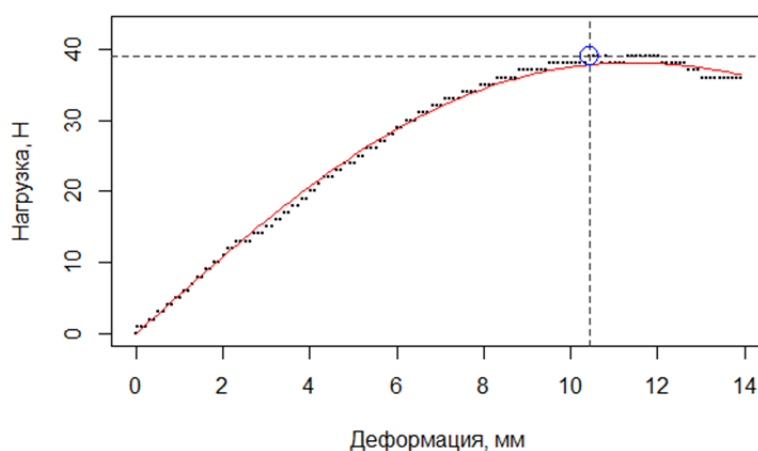


Рисунок 3 – Зависимость нагрузки от деформации

#### Выводы

1. Однослойные композиционные материалы, сформированные с использованием преформы из льняных волокон, обладают значениями жёсткости при статическом изгибе близкими к жёсткости обувного картона для полустелек.
2. Зависимость нагрузки от деформации однослойного композиционного материала, сформированного с использованием льняной преформы, может быть описана предложенной экспоненциальной моделью.

#### Список использованных источников

1. Strohrmann, K. Bilinear approach to tensile properties of flax composites in finite element analyses / Strohrmann, K., Hajek, M. J. // *Journal of Materials Science* 2019, Volume 54, Issue 2, pp 1409–1421. <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2912-1>
2. van den Oever, M. J. A. / Influence of the Physical Structure of Flax Fibres on the Mechanical Properties of Flax Fibre Reinforced Polypropylene Composites / van den Oever, M. J. A., Bos, H. L., van Kemenade, M. J. J. M. // *Applied Composite Materials* 2000, Volume 7, Issue 5–6, pp 387–402. <https://doi.org/10.1023/A:1026594324947>
3. Yukseloglu, S. M. / The Mechanical Properties of Flax Fibre Reinforced Composites / Yukseloglu, S. M., Yoney, H. // *Natural Fibres: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications* 2016, pp 255-266. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-7515-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-94-017-7515-1_19)
4. Reimer V., Dyagilev A.S., Gries T. Effect of vibration mechanism operating conditions on the structure of a braided preform / *Fibre Chemistry*. 2018. Т. 49. №5. С.330-333.
5. Реймер В. Оценка прочности композиционных материалов, армированных плетеной преформой / Реймер В., Дягилев А.С., Либенштунд Л., Кузнецов А.А., Грис Т. // *Химические волокна*. 2018. № 6. С. 61-65.

6. ГОСТ 9542-89. Картон обувной и детали из него. Общие технические условия– Взамен ГОСТ 9542-76; Введ. С 01.01.91.: М. : Изд-во стандартов, 1989. – с.15.
7. ГОСТ 9187-74. Обувной картон. Метод определения жесткости и изгибостойкости при статическом изгибе. – М. : Издательство стандартов, 1974.
8. Дягилев, А. С. Методы и средства исследований технологических процессов / А. С. Дягилев, А. Г. Коган ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2012. – 206 с.

УДК 681.5

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ**

*Ковалев К.А., асс., Жизневский В.А., к.ф.-м.н.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. *Статья посвящена анализу и разработке автоматической системы дозирования химических компонентов. Цель исследования – спроектировать и реализовать алгоритм дозирования с точностью до 0,01 г. В результате разработана автоматическая система, позволяющая организовать процесс дозирования с требуемой точностью, а также разработан графический интерфейс для удобства организации работы системы и отображения хода и результатов дозирования.*

Ключевые слова: дозирование жидкости, весовой метод дозирования, структура системы дозирования.

Дозирование один из самых важных технологических процессов в производстве строительных материалов, продовольствия, кормов, химической и фармацевтической промышленности.

Внедрение на предприятиях систем автоматического дозирования сырья и/или продукции позволяет увеличить точность подготовки компонентов смеси, за счет чего повышается качество выпускаемой продукции, уменьшается влияние «человеческого фактора» и повышается производительность оборудования.

Отличительными чертами весового дозирования является точность, простота настройки и обслуживания, надежность, а также возможность многоцелевого использования. Учитывая, что весовые дозаторы без конструктивных изменений позволяют заполнять контейнеры самых различных форм и размеров очень широким ассортиментом продуктов, можно смело утверждать о неисчерпаемости их возможных областей применения.

Системы автоматического дозирования традиционно строятся по трехуровневой структуре.

На нижнем уровне системы располагаются система взвешивания, система подачи дозируемого продукта с накопителей, дозировочная головка и разгрузки готовой дозы.

На среднем уровне контроллер, блоки индикации и источники бесперебойного питания. Этот уровень обеспечивает сбор информации о состоянии оборудования, автоматическое управление в соответствии с заданным алгоритмом, передачу информации о состоянии системы на верхний уровень, включение блокировок и аварийной сигнализации в нештатных ситуациях, обработку поступающих от оператора команд.

Верхний уровень системы автоматизированное рабочее место оператора. Информация, поступающая от PLC, отображается на мнемосхемах.

Для облегчения работы операторов и строгого соблюдения технологии, созданием рецептуры занимается только технолог. Изменения рецептуры следует защищать паролем и сохранять в базе данных. При управлении системой оператор только выбирает формулу (номер рецепта) и используемые в данный момент бункера (и/или смесителя). Гибкое изменение параметров загрузки, удобное отображение отчетов и результатов загрузки/разгрузки позволят операторам производить точное дозирование в автоматическом режиме.

Система подачи должна удовлетворять единственному условию: обеспечение регулярного потока дозируемого вещества. Для различных дозируемых веществ, подачу продукта можно организовать разными способами, оптимальными для конкретной задачи, не меняя дозировочного оборудования.