

и исполнения требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности продукции легкой промышленности» (ТР ТС 017/2011) и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования требованиям этого технического регламента: Решение Коллегии ЕЭК от 26.07.2022 г. № 108. URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/22kr0108/> (дата обращения: 14.11.2022).

12. О безопасности продукции лёгкой промышленности: техн. регламент Таможенного союза ТР ТС № 017/2011 (ред. от 09.08.2016): утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9.12.2011 г. № 876 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320564> (дата обращения: 14.11.2022).

13. О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков: техн. регламент Таможенного союза ТР ТС № 07/2011 (ред. от 28.04.2017): утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 23.09.2011 г. № 797 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902308641?section=text> (дата обращения: 14.11.2022).

14. Экологический союз. Борьба с гринвошингом. URL: <https://ecounion.ru/ekoprosveshhenie/borba-s-grinvoshingom/> (дата обращения: 14.11.2022).

УДК 677.017.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ

MODELING OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF POLYMER MATRICES

С. А. Рудаков¹, В. И. Столяренко¹

*¹Витебский государственный технологический университет,
Витебск, Республика Беларусь*

S. A. Rudakov¹, V. I. Stolyarenko¹

¹Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus

Аннотация – Актуальность темы обусловлена необходимостью замещения импортного сырья и комплектующих, доступность которых в настоящее время ограничена для отечественных производителей. Цель работы – моделирование физико-химических свойств полимерных материалов и получение композиционного материала для производства деталей обуви. Поставленная цель вызвана необходимостью импортоза-

мещения материалов и сырья с высокими качественными показателями, которые соответствуют требованиям нормативных документов.

В ходе работы проведен анализ литературных источников, проведено планирование эксперимента для наиболее полного исследования композиционных анизотропных материалов; проведено опытное исследование влияния технологических факторов на свойства материала при получении стеклошпона; наработаны образцы для исследования механических свойств материала.

Ключевые слова – композит, стекловолокно, импортозамещение, полимерные матрицы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Тема работы соответствует тематике государственных программ научных исследований на 2021–2025 годы «Материаловедение, новые материалы и технологии». Одной из заявленных целей этой программы является: получение, переработка и рециклинг полимерных композитов, в том числе с использованием отечественной производственной и сырьевой базы.

Актуальность тематики связана с необходимостью замещения импортного сырья и комплектующих, доступность которых в настоящее время ограничена для отечественных производителей. Это вызвано общемировой тенденцией, при которой ведущие экономики мира в борьбе за преимущество на рынке используют санкционные ограничения, последствием которых является нарушение сложившихся логистических цепочек поставок импортных комплектующих. Данное обстоятельство негативно сказывается на уровне производства отечественной промышленной продукции. В связи с вышеизложенным особо остро встал вопрос разработки отечественных аналогов импортных материалов. В данный момент времени объём научных исследований, связанных с внедрением многокомпонентных композиционных материалов на основе стеклопластика в производство деталей обуви, находится на низком уровне. В Республике Беларусь подобные исследования не проводятся, однако имеется необходимость обеспечения импортозамещения в области материалов и сырья с высокими качественными показателями, которые соответствуют требованиям нормативных документов, что является актуальной научно–технической задачей.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При создании композиционного материала планируется прохождение следующих этапов: теоретический анализ априорной информации в области получения композиционных материалов и опыта использования их в обувной промышленности, установление комплекса требований к заданному материалу, определение структурных элементов экспериментального исследования, выбор экспериментального плана,

изготовление и испытание опытных образцов, анализ полученных данных, проверка статистической значимости результат исследования, интерпретация результатов опытного исследования, сравнение результатов исследования свойств материала с комплексом требований, анализ возможности практического использования полученных данных.

К методам исследования данной работы относятся анализ литературных источников, эмпирическое исследования образцов материала, статистический анализ полученных данных.

III. ТЕОРИЯ

Композиционные материалы являются многокомпонентным материалом, который состоит из двух компонентов – *матрица и наполнитель*, которые сами могут быть многокомпонентными. Адгезионное взаимодействие на границе соприкосновения композиционных материалов объясняет их свойства. Такие материалы являются монолитными, а также передача нагружающих сил происходит несущими волокнами посредством матрицы.

Модифицирование – направленное взаимодействие на материал с целью изменения свойств и структуры материала во время производства для улучшения механических и технологических характеристик материала. В настоящее время усилия во время производства композиционных материалов направлено на модифицирование имеющихся материалов, свойства которых изучены [1].

Во время изготовления многокомпонентного композиционного материала необходимо использовать знания про свойства каждого элемента для получения максимально однородного материала при воздействии нагрузок.

Наилучшими свойствами для производства обладают *стекловолокнистые анизотропные материалы* (СВАМ).

Стекловолокнистый анизотропный материал – слоистый стеклопластик, который получают путём горячего прессования стеклошпона, изготовленного из ориентированного стеклянного волокна и связующего вещества (БФ – 4, эпоксидно-феноло-формальдегидного, полиамидно-эпоксидного и др.).

Достоинствами СВАМ по сравнению со стеклотекстолитами являются:

- управление прочностью в задающих направлениях намотки;
- получение листов разной толщины, начиная с 10 мкм;
- высокая однородность материала в случае равномерного распределения связующего вещества и стекловолокна.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Планирование эксперимента. Для получения необходимого результата необходимо спланировать эксперимент.

Опытное исследование проводилось на основе трёхфакторного эксперимента с линейной аппроксимацией. Пример таблицы кодового обозначения независимых переменных и план отсеивающего полного трехфакторного эксперимента с линейной аппроксимацией приведен в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1
КОДОВОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ НЕЗАВИСИМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ
И ПЛАН ОТСЕИВАЮЩЕГО ПОЛНОГО ТРЕХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
С ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИЕЙ

Уровень	X ₁ (УФ излучение)	X ₂ (угол натяжителя)	X ₃ (обкатка валиком)
Основной	7 минут	60°	2 минуты
Интервал	7 минут	15°	2 минуты
Нижний	0	30°	0
Верхний	14 минут	105°	4 минуты
Опыты	Кодированное значение факторов		
	X ₁	X ₂	X ₃
1	–	–	–
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	–
5	–	–	+
6	+	–	+
7	–	+	+
8	+	+	+

Проведение эксперимента. Для проведения экспериментальных исследований изготовлены образцы из эпоксидного полимера ЭД-20 ГОСТ 10587-84. Размеры: для испытания на изгиб длина 80 мм, ширина (25±0,50) мм, толщина (2,00±0,20) мм по ГОСТ 4648-71; для испытания на разрыв длина 250 мм, расстояние между метками, определяющими положение кромок зажимов на образце (170±5) мм, расчетная длина (50±1) мм, ширина (25±0,50) мм, толщина (2,00±0,20) мм по ГОСТ 11262-80. Условия кондиционирования и испытания образцов в стандартной атмосфере 23/50, в соответствии с ГОСТ 12423-2013.

Продолжительно воздействия излучения: 0; 7,5; 15; 30; 45 (минут). Измерение выдержки производилось с помощью лабораторного таймера ТЛ-301. Источник излучения лампа Т8 UVC G13 15 Вт, длина волны излучения 254 нм, с расстояния 100 мм от поверхности материала. Механические свойства образцов исследованы путем ис-

пытания на разрыв и на изгиб по ГОСТ 9550-81. Скорость расхождения захватов при растяжении ($1,0 \pm 0,5$) % в минуту, при изгибе 3 мм/мин, расстояние между опорами при изгибе 60 мм. Для проведения испытаний использована разрывная лабораторная машина WDW-20E Характеристики машины приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ WDW-20E [2]

Максимальная нагрузка	20 кН
Точность измерения приложенной нагрузки	$\pm 0,5$ %
Точность измерения деформации образца	$\pm 0,5$ %
Разрешение перемещения	0,001 мм
Точность измерения перемещения	± 1 %
Диапазон скоростей нагружения	0,005-500 мм/мин
Максимальное перемещение траверсы при растяжении и сжатии	800 мм
Ширина пространства для испытаний	370 мм

В результате исследований получены зависимости изменения механических свойств матрицы от времени облучения УФ излучением при полимеризации (рис. 1–4).

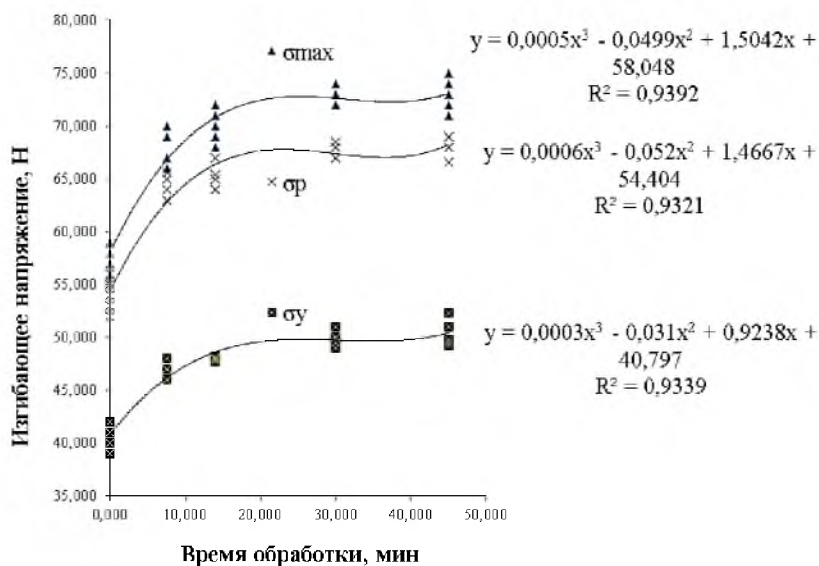


Рис. 1. Изменения механических параметров при испытании на изгиб эпоксидного полимера в зависимости от продолжительности воздействия ультрафиолетового излучения в момент полимеризации [2]:

σ_{\max} - изгибающее напряжение при максимальной нагрузке,

σ_p - изгибающее напряжение при разрушении,

σ_y – максимально изгибающее напряжение упругой деформации образца

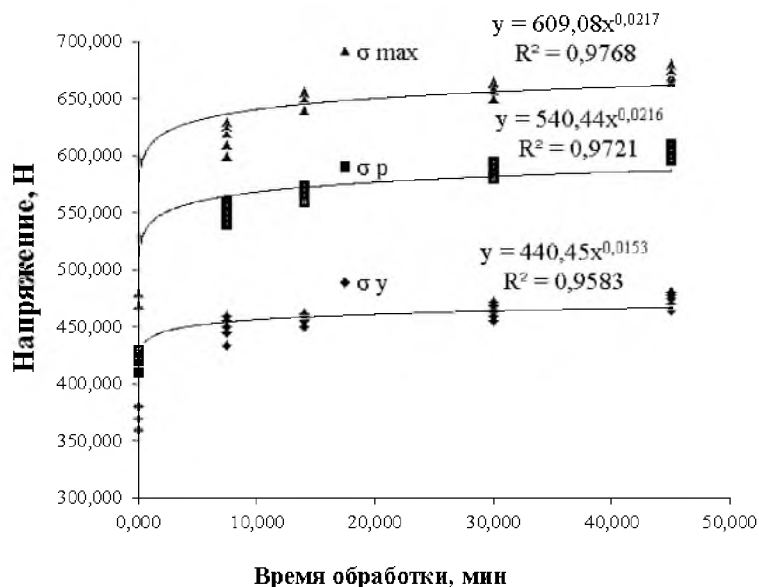


Рис. 2. Изменения механических параметров эпоксидного полимера при испытании на растяжение в зависимости от продолжительности воздействия ультрафиолетового излучения в момент полимеризации [2]:

σ_{\max} - напряжение растяжения при максимальной нагрузке,

σ_p - напряжение растяжения при разрушении,

σ_y – максимальное напряжение растяжения упругой деформации образца

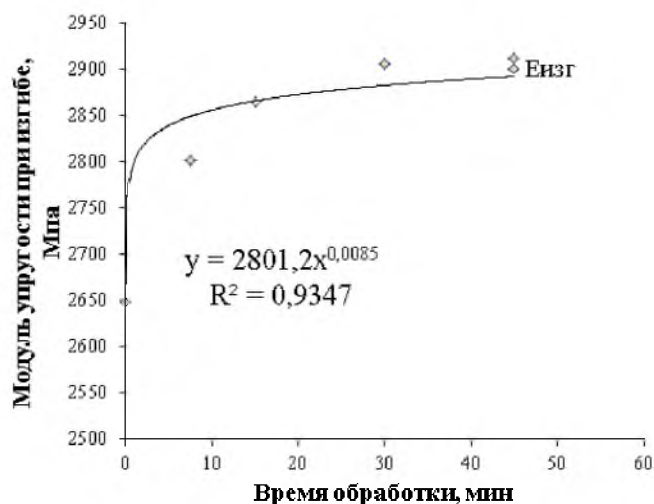


Рис. 3. Зависимость изменения модуля упругости при изгибе от продолжительности воздействия ультрафиолетового излучения в момент полимеризации [2]

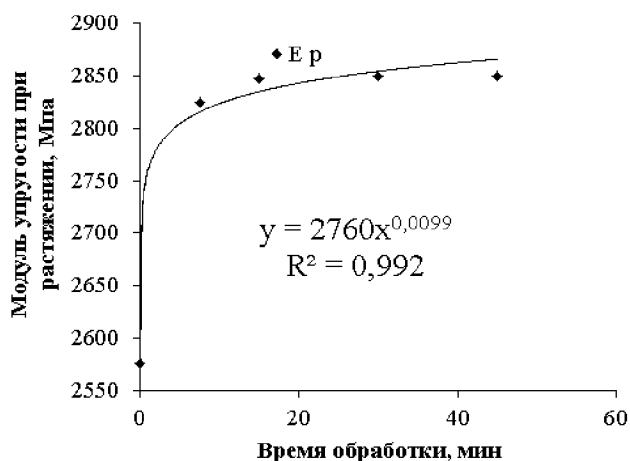


Рис. 4. Зависимость изменения модуля упругости при растяжении от продолжительности воздействия ультрафиолетового излучения в момент полимеризации [2]

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по данной теме был проведен анализ литературных источников, благодаря которому было проведено планирование эксперимента для наиболее полного исследования композиционных анизотропных материалов. Проведено опытное исследование влияния технологических факторов, влияющих на свойства материала при получении стеклошпона. Нароботаны образцы для исследования механических свойств материала на данном этапе. В дальнейшем планируется проведение опытных исследований с применением стендовой модели установки для получения методом намотки стеклошпона, а также производство опытных образцов многослойных многокомпонентных материалов на основе СВМ, эмпирическое исследование образцов из полученного материала и статистический анализ полученных данных.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Научный руководитель – к.т.н., профессор, заведующий кафедры «Теплоэнергетика» Ольшанский Валерий Иосифович.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красильникова Ю. В., Кейбал Н. А., Крекалёва Т. В. [и др.]. Модификация клеевых композиций на основе эпоксидной смолы фосфорборсодержащими соединениями // 12-я науч.-практ. конф. профес.-преподават. состава ВПИ (фил.) ВолгГТУ, 30–31 янв. 2013 г. Волжский, 2013. С. 217.
2. Столяренко В. И., Ольшанский В. И. Анализ элементов технологии производства геленков из композиционного материала на основе стеклоткани // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2021. № 2 (41). С. 81–89.