

УДК 677.12  
DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_6\_292

**ПРИМЕНЕНИЕ КОНОПЛИ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**THE USE OF HEMP  
IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS**

*A.S. ПАРСАНОВ, М.В. АНТОНОВА, И.В. КРАСИНА*  
A.S. PARSANOV, M.V. ANTONOVA, I.V. KRASINA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan State Research Technological University)

E-mail: parsanov1982@yandex.ru

*В статье рассмотрена возможность применения костры и волокон конопли в производстве композитных материалов. Представлены результаты исследований в области применения конопляных волокон зарубежными исследователями. Разработан прототип композитного материала на основе эпоксидной смолы с волокнистым наполнителем в виде костры и волокон конопли. Установлено, что применение волокон конопли в объеме 2,5 массовых частей от объема композиционного материала позволяет получить однородный материал. Проведены испытания разработанного композиционного материала на сжатие и устойчивость к повреждениям падающим грузом. Выявлено, что добавление технического глицерина в получаемую композицию позволяет повысить прочность композитного материала на 13% и увеличить сопротивление всего композиционного материала к повреждению падающим грузом.*

*The article considers` possibility of using hemp hurds and hemp fibers for the production of composite materials. The research results` of using the hemp fibers by foreign researchers are presented. A composite material` prototype based on epoxy resin with a fiberfill in the form of hemp hurds and hemp fibers has been developed. It has been established that the using of hemp fibers in a volume of 2.5 mass parts from the volume of the composite material makes it possible to produce*

*a uniform material. The developed composite material has been tested for compression and damage resistance by falling cargo. It has been shown that the addition of technical glycerine to the composition makes it possible to increase the composite materials' strength to 13% and resistance to damage by falling cargo.*

**Ключевые слова:** композитный материал, волокна конопли, свойства, костра.

**Keywords:** composite material, hemp fibers, properties, hemp hurds.

В настоящее время основным направлением развития производственного сектора экономики является разработка и применение композитных материалов. Особое развитие получили разработка, проектирование и дальнейшее применение композитных материалов на основе ресурсов деревообрабатывающей промышленности. Композиционные материалы, кроме высоких физико-механических свойств обладают широким рядом других достоинств: высокая воздухопроницаемость, гигроскопичность, высокая пористость и т.д.

Однако применение ресурсов исключительно деревообрабатывающей промышленности является тупиковой ветвью развития данных разработок в связи с долгой возобновляемостью сырья.

Поэтому актуальной задачей развития технологий получения композитных материалов с прогнозируемыми свойствами является возможность применения продукции растениеводства. Данная отрасль характеризуется получением широкой сырьевой базы за малый промежуток времени. Основными преимуществами является неприхотливость посевных культур и высокий выход волокнистого материала [1].

Перспективным направлением в области получения композитных материалов является применение растительных волокон конопли.

Конопляные волокна широко используются западными учеными для создания биокомпозиционных материалов для различных областей применения.

Разрабатываются биокомпозитные материалы полностью из органических материалов и с включением растительных волокон в качестве наполнителей. Совместное исследование ученых из Канады и Велико-

британии позволило создать новые биокомпозитные материалы из конопляной костры с использованием кремнеземной матрицы. Композиты водостойкие и показали хорошие механические характеристики, что позволило разработать на их основе новые теплоизоляционные строительные материалы. В исследовании композиты на основе конопляной костры были изготовлены с использованием золя кремнезема в качестве связующего, который придал композиту многофункциональность [2].

Словенская фирма Мовихем специализируется на выпуске химических материалов, позволяющих модифицировать костру конопли для последующего применения в качестве наполнителя в производстве строительных плит и прочих материалов, устойчивых к огню и влаге. Один из главных продуктов – Retacell ФЛР - А1 - противопожарный и экологически безопасный полимерный гель [3].

На сегодняшний день, с увеличением производства пластика, увеличивается и количество отходов, загрязняющих окружающую среду, поскольку пластик принадлежит к бионеразлагаемым материалам. Производство экопластиков является актуальной проблемой во всем мире. Если в качестве наполнителя использовать экологические добавки (волокна льна, конопли, костру и т.д.), то можно получить биоразлагаемые пластики с различными свойствами.

Компания NCA Renewable Technologies, производитель композитов из натуральных волокон, разработала биопанели INCA на основе конопли. Несомненное преимущество таких панелей состоит в том, что они позволят сократить выбросы углекислого газа на 76%, производство отходов на 89% и потребление воды на 82% по сравнению с

фанерой из тропических лесов лауана, используемой в настоящее время в автомобилестроении, для отдыха, мебельной и киноиндустрии [4].

Кроме указанных областей применения волокна конопли широко используются в качестве добавок к бетонам, к составам для изоляции зданий и др. [5...7]. Однако, в основном, композиты из натуральных волокон обладают низкой прочностью, способны поглощать большое количество влаги, которая приводит к ослаблению межфазной адгезии и разрушению всего композита [8...10]. Поэтому актуальным направлением является разработка биоразлагаемых композиционных материалов, обладающих высокими прочностными характеристиками.

Одним из способов получения экологического пластика является соединение эпоксидной смолы с биоволокнистым наполнителем до получения композитных материалов. Выбор эпоксидной смолы в качестве связующей матрицы обусловлен тем, что при отверждении эпоксидная смола характеризуется минимальной влагопроницаемостью и способствует получению композиционных материалов с высокими физико-механическими показателями.

Цель работы – создание прототипа биоразлагаемого композиционного материала на основе конопляных волокон и костры, с высокими физико-механическими показателями.

Объектами исследования выбраны эпоксидная смола ЭД-20 (ГОСТ 10587–84), отвердитель ПЭПА (ГОСТ 10587–84) фракция костры конопли – 0,5...1 см, волокна ко-

нопли технической, измельченные до размеров костры, производства ООО "Мордовские пенькозаводы", глицерин технический.

Оценка внешнего вида полученных композиционных материалов осуществлялась органолептически. Механические показатели полученного прототипа композиционного материала оценивались при проведении следующих испытаний: испытание на сжатие, испытание на сопротивление повреждению при ударе падающим грузом.

Испытание на сжатие проводили по стандартным методикам на электромеханической разрывной машине РЭМ -5, производства ООО "Метротест" (ГОСТ 28840 СТО – 75829762–001). Испытание на сопротивление повреждению при ударе падающим грузом проводили согласно ГОСТ 33496–2015.

На первом этапе работы проводилась разработка рецептуры композитного материала, состоящего из эпоксидной смолы ЭД-20, отвердителя ПЭПА, волокон конопли и костры.

Смешивание составляющих материалов осуществляли вручную, до получения однородной смеси. Масса компонентов рассчитана таким образом, чтобы композит получился однородным по структуре. Волокна конопли и кусочки костры смешивали со связующим, а затем выкладывали в специальную форму, утрамбовывали и оставляли сушиться при комнатной температуре. Затем высушенные образцы извлекались из форм и подвергались кондиционированию при температуре 19°C и относительной влажности 50%. Составы полученных образцов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Образец №	1	2	3	4	5
Эпоксидная смола, масс. частей	50	50	50	50	50
Отвердитель, масс. частей	5	5	5	5	5
Волокна конопли и костры, масс. частей	–	2	2,5	5	7

Органолептическая оценка образцов, изготовленных по рецептуре 1 (табл. 1), показала, что допустимый концентрат находится в образце №3. Уменьшение концентрации наполнителя не приводит к результативной экономической эффективности, а

увеличение концентрации наполнителя не позволяет получить однородный материал. Однако данные эксперимента показали, что полученный образец №3 является хрупким, так как он разрушился на мелкие фракции при испытании на сжатие. Поэтому следу-

ющим этапом работы являлось повышение эластичности полученного материала. Для данной работы в ходе эксперимента в об-

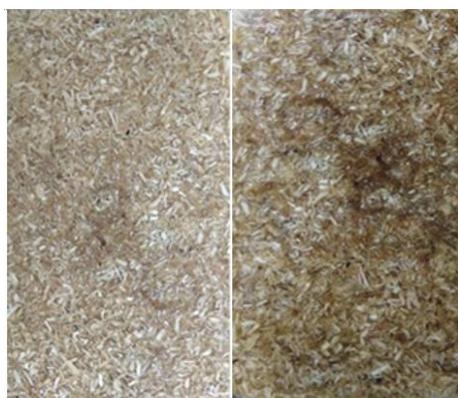
разцы был добавлен глицерин технический в различных соотношениях. Состав данных образцов представлен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Образец №	1	2	3	4	5
Эпоксидная смола, масс. частей	50	50	50	50	50
Отвердитель, масс. частей	5	5	5	5	5
Глицерин, масс. частей	–	2,5	5	10	15
Волокна конопли и костры, масс. частей	–	2	2,5	5	7

Органолептическая оценка образцов, изготовленных по рецептуре 2 (табл. 2), показала, что более сбалансированным по составу получился образец №3, он получил гибкость и на ощупь не был маслянистым, в то время как образцы №1 и №2 остались без изменения, а образцы №4 и №5 получились сверхмаслянистыми на ощупь.

Фотографии полученных композиционных материалов представлены на рис. 1: (а) состав ЭД -20 /ПЭПА – 50/5 масс.ч, волокна конопли/костра (1:1) 2,5 масс.ч.; б) состав ЭД -20 /ПЭПА – 50/5 масс.ч, волокна конопли/костра (1:1) 2,5 масс.ч., глицерин 5 масс.ч).



а) б)  
Рис. 1

Анализируя фотографии, представленные на рис. 1, можно сделать вывод о том, что частицы конопляной костры и волокон хорошо встраиваются в матрицу, благодаря хорошему взаимодействию между конопляной кострой, волокном и связующим.

Для оценки стойкости образцов к приложенным нагрузкам провели испытание на сжатие. Между собой сравнивали образцы композиционных материалов, изготовленных по рецептуре 1 (образец №3) и

рецептуре 2 (образец №3 с добавлением глицерина). По окончании испытания выявлено, что образец композиционного материала, изготовленный по рецептуре 1 выдерживает нагрузку до 3,5 МПа и имеет структурные разрушения в виде глубоких трещин и сколов. Данный эффект, скорее всего, объясняется наличием случайных локальных возмущений напряжений и случайного распределения неоднородностей в материале.

Образец композиционного материала, содержащий в своем составе 5 масс.ч. глицерина, выдерживает нагрузку до 4 МПа, имеет трещины, но при этом не разрушается. Это говорит о том, что межфазная адгезия между конопляным наполнителем и связующей матрицей хорошая, а силы сдвига низкие.

Для оценки сопротивления повреждению при ударе падающим грузом изготавливались композиционные материалы в виде пластин размером 100×150×5 мм. Соотношение компонентов в пластинах: образец №1 – состав ЭД-20 /ПЭПА – 50/5 масс.ч, волокна конопли/костра (1:1) 2,5 масс.ч.; образец №2 – состав ЭД -20 /ПЭПА – 50/5 масс.ч, волокна конопли/костра (1:1) 2,5 масс.ч., глицерин 5 масс.ч. Испытание проводили согласно ГОСТ 33496–2015, по методу А. Энергия удара составляла 33,5 Дж/мм.

Для определения значений параметров, характеризующих сопротивление разрушению композиционного материала при ударе падающим грузом, исследовали глубину отпечатка на пластине, размеры и площадь зоны повреждения. В результате удара были выявлены следующие типовые разрушения, видимые на поверхности пластин:

- образец №1 – вмятина диаметром 7 мм,

глубина отпечатка 1 мм, большие трещины, площадь зоны повреждения 20 мм<sup>2</sup>;

- образец №2 – вмятина диаметром 8 мм, глубина отпечатка 1,2 мм.

Таким образом, добавление глицерина в состав композита увеличивает сопротивление всего композиционного материала к повреждению падающим грузом, что объясняется снижением локального напряжения в структуре композитного материала.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в данном исследовании разработан прототип композиционного материала на основе эпоксидной смолы с волокнистым наполнителем в виде костры и волокон конопли. Выявлено, что добавление в состав композита на основе конопли и эпоксидной смолы технического глицерина способствует повышению его прочности при сжатии до 13% и увеличивает сопротивление всего композиционного материала к повреждению падающим грузом.

Предстоит выполнить еще ряд исследований, чтобы устранить существенные недостатки композитов, такие как высокая хрупкость, низкая огнестойкость. Нивелировать указанные недостатки возможно путем модификации всего композита или отдельно составляющих его частей в газовом разряде. По ранее полученным результатам установлено, что такая обработка может быть применима для улучшения свойств материалов [11...13].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конопля [Электронный ресурс]. Точка доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/6883> доступ свободный.
2. Atif Hussain et al, Development of novel building composites based on hemp and multi-functional silica matrix, Composites Part B: Engineering. –Vol. 156, 2019. P.266...273, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.093>
3. Огнестойкая модифицированная конопля [Электронный ресурс]. Точка доступа: <https://www.rosflaxhemp.ru/fakti-i-cifri/o-konople/stroitelnye-materialy-i-tehnologii.html/id/1746>, свободный
4. Биокомпозиты на основе конопли INCA Renewtech для радикального сокращения выбросов углекислого газа - JEC Group <https://www.jecgroup.com/news>, свободный.

сурс]. Точка доступа: [www.jecgroup.com/news](https://www.jecgroup.com/news), свободный.

5. Ahmad MR, Bing C, Oderji SY, Mohsan M. Development of a new bio-composite for building insulation and structural purpose using corn stalk and magnesium phosphate cement; Physical, mechanical, thermal and hygric evaluation. Energy Build 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.007>.

6. Elfordy S, Lucas F, Tancret F, Scudeller Y, Goudet L. Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hempcrete”) manufactured by a projection process. Construct Build Mater 2008;22:2116–23. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.016>.

7. Marceau S, Glé P, Guéguen-Minerbe M, Gourlay E, Moscardelli S, Nour I, et al. Influence of accelerated aging on the properties of hemp concretes. Construct Build Mater 2017; 139:524–30. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.129>.

8. Kabir M.M., Wang H., Lau K.T., Cardona F., Aravinthan T. Mechanical properties of chemically-treated hemp fibre reinforced sandwich composites Compos B Eng. – 43, 2012. P. 159...169, 10.1016/j.compositesb.2011.06.003

9. Xie Y., Hill C.A.S., Xiao Z., Militz H., Mai C. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: a review Composites Part A Appl Sci Manuf. – 41, 2010. P. 806...819, 10.1016/j.compositesa.2010.03.005

10. Pickering K.L., Efendy M.G.A., Le T.M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance Composites Part A Appl Sci Manuf. – 83, 2016. P. 98...112, 10.1016/j.compositesa.2015.08.038

11. Антонова М.В., Красина И.В., Илюшина С.В. Регулирование гидрофильности смесовых тканей с применением низкотемпературной плазмы // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №3. С. 100...103.

12. Krasina I.V. et al. J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. 1353 012067

13. Antonova M.V. et al. J. Phys.: Conf. Ser. – 2020. 1588 012003

## REFERENCES

1. Hemp [Electronic resource]. Access point: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/6883> free access.
2. Atif Hussain et al, Development of novel building composites based on hemp and multi-functional silica matrix, Composites Part B: Engineering. –Vol. 156, 2019. P.266...273, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.093>
3. Fire-resistant modified hemp [Electronic resource]. Access point: <https://www.rosflaxhemp.ru/fakti-i-cifri/o-konople/stroitelnye-materialy-i-tehnologii.html/id/1746>, free
4. Biocomposites based on hemp INCA Renewtech for radical reduction of carbon dioxide emissions - JEC

Grouphttps: [Electronic resource]. Hotspot: www.jec-composites.com/news, free.

5. Ahmad MR, Bing C, Oderji SY, Mohsan M. Development of a new bio-composite for building insulation and structural purpose using corn stalk and magnesium phosphate cement; Physical, mechanical, thermal and hygric evaluation. *Energy Build* 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.007>.

6. Elfordy S, Lucas F, Tancret F, Scudeller Y, Goudet L. Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hemcrete”) manufactured by a projection process. *Construct Build Mater* 2008;22:2116–23. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.016>.

7. Marceau S, Glé P, Guéguen-Minerbe M, Gourlay E, Moscardelli S, Nour I, et al. Influence of accelerated aging on the properties of hemp concretes. *Construct Build Mater* 2017; 139:524-30. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.129>.

8. Kabir M.M., Wang H., Lau K.T., Cardona F., Aravinthan T. Mechanical properties of chemically-treated hemp fiber reinforced sandwich composites *Compos B Eng.* - 43, 2012. P. 159...169, 10.1016/j.compositesb.2011.06.003

9. Xie Y., Hill C.A.S., Xiao Z., Militz H., Mai C. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: a review *Compos Part A Appl Sci Manuf.* - 41, 2010. P. 806...819, 10.1016/j.compositesa.2010.03.005

10. Pickering K.L., Efendy M.G.A., Le T.M. A review of recent developments in natural fiber composites and their mechanical performance *Compos Part A Appl Sci Manuf.* – 83, 2016. P. 98...112, 10.1016/j.compositesa.2015.08.038

11. Antonova M.V., Krasina I.V., Ilyushina S.V. Regulation of the hydrophilicity of mixed fabrics using low-temperature plasma. *Izv. universities. Technology of the textile industry.* - 2019, No. 3. pp. 100...103.

12. Krasina I.V. et al. *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2019. 1353 012067

13. Antonova M.V. et al. *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2020. 1588 012003

Рекомендована кафедрой технологии натуральных, химических волокон и изделий. Поступила 22.12.21.