

УДК 677.862.620.16

DOI 10.33113/mkmk.ras.2021.27.02.205_216.04

УСИЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СЛОЯ МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТА БАЗАЛТОПЛАСТИКОМ В ВИДЕ СОТОВОЙ СТРУКТУРЫ

Пономарева Г.П.¹, Попова И.М.¹, Сладков О.М.¹, Пономарев М.В.²,
Гончарова Т.П.¹, Хитрова Н.В.¹

¹*Филиал Самарского государственного университета путей сообщения
в г. Саратове (филиал СамГУПС в Саратове), г. Саратов, Россия*

²*Саратовский филиал ООО «Газпром проектирование», г. Саратов, Россия*

АННОТАЦИЯ

Представлена многослойная конструкция, состоящая из наружных слоев двухслойного базальтопластика, состоящего из базальтовой ткани, пропитанной эпоксидным компаундом и внутреннего слоя из пенополиуретана, армированного базальтопластиком, того же состава, сформированного в виде сопряженных шестигранных призм, образующих сотовый каркас.

В основной части описана последовательность технологии формирования базальтопластиковых облицовочных слоев, полученных импрегнированием эпоксидного олигомера в базальтовую ткань с последующим отверждением олигомера при повышенной температуре. Приведена технология формирования базальтопластикового шестигранного ячеистого каркаса и заполнение его жидкой реакционной массой жесткой пенополиуретановой системы. Описана последовательность формирования многослойного композита в единую конструкцию. Приведены результаты экспериментальных испытаний многослойного композита и его внутреннего слоя без облицовочных слоев на статический изгиб сосредоточенной нагрузкой, нарастающей с постоянной скоростью, и испытания на сжатие до 10% относительной деформации. Исследовано влияние размера призматических шестигранных ячеек каркаса на физико-механические характеристики среднего слоя. Прочностные характеристики образца определялась приложением нагрузки как в направлении перпендикулярном несущим слоям, так и в плоскости с приложением силы в направлении параллельном несущим слоям конструкции. Прочностные характеристики с уменьшением размера ячеек при испытании образцов с наполнителем в виде шестигранных призм, заполненных пенополиуретаном, на статический изгиб и сжатие возрастают в 2-4 раза. Исследована плотность композита в зависимости от типа армирования и величины ячеек базальтового каркаса, которая возрастает с уменьшением размера ячеек.

Ключевые слова: многослойный композит; базальтопластик; базальтовая ткань; пенополиуретан; эпоксидный компаунд; ячеистый каркас

STRENGTHENING OF THE INSIDE LAYER OF THE MULTILAYERED COMPOSITE BY BAZALTOPLASTIK IN THE FORM OF CELLULAR STRUCTURE

Ponomareva G.P.¹, Popova I.M.¹, Sladkov O.M.¹, Ponomarev M.V.²,
Goncharova T.P.¹ Khitrova N.V.¹

¹*The Branch of the Branch of the Samara State Transport University in Saratov,
Saratov, Russia*

ABSTRACT

In our studies we present a multilayer structure consisting of outer layers of two-ply basalt composed of basalt fabric impregnated with an epoxy compound and an inner layer of polyurethane reinforced with basalt, having the same composition, formed in conjugate hexagonal prisms, and forming a cellular framework.

The main part describes the technological sequence of obtaining basalt face layers, basalt hexagonal cellular frame, and filling it with a liquid reaction mass of rigid polyurethane system. The formation of a single multilayer composite structure is shown. We also present the results of the experimental research of strength of a laminated composite and its inner layer without facing layers when tested for static bending with concentrated load increasing at a constant rate and compression testing up to 10% of relative deformation. It describes the effect of the size of hexagonal prismatic cells of the frame on the physical and mechanical characteristics of the middle layer. The reduction of the cell size results in the increase of the composite strength.

The dependence of the composite density on the size of the cells of the basalt frame has been studied.

Keywords: multi-layer composite; basalt plastic; basalt fabric; polyurethane foam; epoxy compound; the cellular structure

ВВЕДЕНИЕ

Многослойные композиционные материалы с армированным внутренним слоем нашли широкое применение в различных отраслях промышленности в качестве элементов конструкции и тепло- звукоизоляции. Разработка новых структур композитов, методов моделирования и способов производства, становятся значимыми с ростом их потребления. Задачами научных исследований в создании композиционных материалов является не только поиск новых структур, но и способов повышения их теплотехнических и прочностных характеристик при снижении веса и металлоемкости. Выполнение поставленных задач достигается формированием многослойных композиций с использованием вспененных полимерных систем, обладающих низким коэффициентом теплопроводности и не высокой плотностью. Однако пенопласты обладают низкими механическими характеристиками, поэтому возникает необходимость придания им улучшенных свойств, которые можно достичь армированием. При формировании многослойных композитов в качестве покровных слоев часто используются листы металлического проката, ПВХ, деревянные плиты, ламинат, волокно [1].

Создание новых структур многослойных композитов предполагает понимание их поведения под действием различных нагрузок, поэтому исследованием физико-механических и теплотехнических характеристик композитов различного состава посвящено много работ. В статье Hiroshi Saito и Isao Kimpara показаны преимущества использования в многослойных композитных панелях покровных листов из углеродного волокна, изготовленных при помощи вакуумной пропитки методом литья. Остаточные напряжения определяли С-скан исследованием и с помощью микрофотографии [2]. Разработана и исследована сэндвич-панель, состоящая из наружной оболочки, изготовленной из стеклоткани, эпоксидной смолы и алюминиевого сотового наполнителя. Исследовано влияние на физико-механические характеристики

таких параметров, как максимальная нагрузка, время достижения максимальной нагрузки и прогиб при максимальной нагрузке [3]. Разработаны сэндвич конструкции с наружными слоями из трехслойной ткани и средней прослойки – распорки (моно-прокладки), где представлены два вида моно-прокладки с интегрированным полым слоем: один с 8-образными формами, а другой – с рифлеными. Исследованы механические характеристики и указаны недостатки моно-прокладки при различных условиях нагружения. Кроме того, проанализировано влияние высоты слоя, плотности, структуры на механические характеристики композита. Показано, что механические свойства моно-прокладки композита могут регулироваться изменением ее конструкции [4]. Разработаны заполненные пеной сэндвич композиты, наружные листы которых изготовлены из различных тканевых материалов с использованием вакуумного автоматического процесса инфузии. Исследованы прочностные характеристики композита с наружными слоями, соединенными с прослойкой прессованием, в качестве облицовки (наружных слоев) которой были использованы четыре типа материала в различном сочетании: монолитные (S2-стекло, углерод), гибридные (стекло + карбон с одной стороны и S2-стекло + углерод с другой стороны). Исследована динамическая характеристика на пике напряжения, определены модуль упругости и удлинение с использованием процесса VARTM [5]. Разработан и исследован многослойный композит, средний слой которого выполнен из пенопласта, армированного титановыми штырями, сформированными в виде фермы. Верхний и нижний листы сэндвич-конструкции изготовлены из 16 слоев стеклопластика (стеклоткани и эпоксидного компаунда), уложенных в определенном порядке [6]. R. Mohmmed и др. исследовали сэндвич-панели, состоящие из ячеистого ядра, выполненного из пенопласта правильной шестиугольной формы и ортогональных армированных лицевых пластин, изготовленных из термопластов или реактопластов и армированных стеклотканью или углеродным волокном [7]. В работе [8] авторы исследуют многослойные конструкции, состоящие из внутренних прослоек в виде трехмерных зигзагообразных листов и наружных листов из арамидных и углеродных тканевых материалов, пропитанных эпоксидной смолой. Исследовано механическое поведение внутреннего слоя и наружных листов при испытании на сжатие и под действием ударных нагрузок. А.А. Берлиным и др. исследованы основы формирования новых структур полимерных композитов путем подбора компонентов, обеспечивающих достижение заданного комплекса свойств. На основе различных теоретических моделей предложены методы расчета механических свойств композитов. Изучены поверхностные явления, горючесть, теплофизические свойства, способы увеличения ударной вязкости наполненных полимеров [9]. А.Н. Трофимов и Л.В. Плешков исследовали два вида сэндвич-структур, представляющих собой трехслойные композитные пластины с легким средним слоем: в первом варианте наполнителем, является полиуретановый пенопласт, а во втором – композит на основе полых стеклянных микросфер (синтактик). Облицовка композитов состоит из листов на основе полых стеклянных микросфер и представляет собой тонкий эластичный полимерный материал, высокая эластичность которого позволяет формировать на его основе изделия самой сложной геометрии [10].

Анализ публикаций показывает, что многочисленные исследования и опыт применения в промышленности вспененных пластмасс, усиленных различными материалами, как внутренним армированием, так и наружным, позволяют

предположить, что несущие слои, вместе с наполнителем, могут воспринимать большие механические нагрузки. Следовательно, поиски новых форм композитов и материалов для их формирования с более высокими прочностными характеристиками, вынуждает заниматься поиском новых решений.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторами разработан многослойный композит с поверхностными слоями из базальтопластика (БП), представленного базальтовой тканью (БТ) с импрегнированным в нее эпоксидным компаундом, а внутренним слоем-утеплителем является жесткий пенополиуретан (ППУ), секторально введенный в жидком состоянии в межкаркасное пространство. Каркас внутреннего слоя выполнен из БП в виде сопряженных шестигранных призм, образующих сотовую структуру. Основания шестигранных призм прилегают к наружным слоям конструкции. Базальтопластик получен пропиткой базальтовой ткани (БТ) эпоксидным олигомером с последующим структурированием его в межпоровом пространстве ткани при повышенной температуре в термокамере.

Основанием для выбора материалов, составляющих структуру композита, послужили их свойства. Жесткий ППУ имеет малую плотность, высокий коэффициент термического сопротивления, высокую адгезионную прочность ко многим материалам, отличается морозостойкостью и теплостойкостью. БТ и изготовленный на ее основе БП обладает не только высокими механическими характеристиками, но высокими теплотехническими свойствами.

Для создания опытных образцов использовалась: жесткая пенополиуретановая система, состоящая из компонента А – АТ-205ПН (ТУ 2226-005-43862634-01) и компонента Б – вранат 229 (ТУ 2226-005-43862634-01); базальтовая ткань БТ-12 (ТУ 5952-031-00204949-95); эпоксидный компаунд марки Этал-145М (ГОСТ 10587-93).

На начальном этапе были изготовлены опытные образцы многослойного композита с наружными слоями из БП и средним слоем из ППУ без армирования [11]. Опытные образцы со средним слоем из ППУ, армированным базальтопластиковым каркасом в виде шестигранных призм готовились в несколько этапов. Вырезались образцы из базальтовой ткани с плотностью $\rho_{ткани} = 270 \text{ г/м}^2$ размером 150*100 мм, которые подвергались предварительной обработке отжигом. Затем получали базальтопластик, импрегнированием эпоксидного компаунда в базальтовую ткань, с последующим отверждением эпоксидной составляющей при температуре 200°C в течение 60 мин [12]. Основным геометрическим параметром армирующего каркаса является размер сот, поэтому при изготовлении экспериментальных образцов этот параметр варьировался в пределах 15; 20 и 30 мм.

Для получения сотового каркаса полосы базальтопластика, высота которых равна высоте среднего слоя композита, накладывались друг на друга и соединялись между собой на определенном расстоянии. Соединение с последующими полосами осуществлялось в шахматном порядке. Расстояние между скреплениями выбиралось в зависимости от размера ячейки. Перед использованием заготовка раскрывалась до состояния, когда ячейки принимали форму шестигранных призм. Заготовка с раскрывшимися ячейками помещалась в формообразующую емкость. Пространство каждой шестигранной призмы заполнялось жидкой реакционной массой жесткой пенополиуретановой системы

с последующей выдержкой под давлением до окончания процесса полимеризации и отверждения пенополиуретана. Полученный сотовый каркас помещался между слоями БП. Отверждение эпоксидного компаунда в наружных слоях происходило после соединения всех составляющих, включая сотовый наполнитель, под давлением, аналогично разработанной ранее методике [11] (рис.1-3).

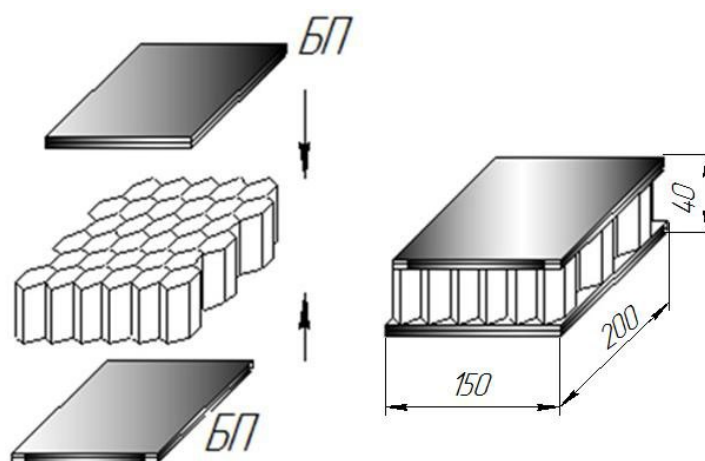


Рис.1 Формирование многослойного композита.



Рис.2. ППУ, армированный БП с размерами ячеек 15 мм.



Рис.3. ППУ, армированный БП с размерами ячеек 20 мм.



Рис.4. ППУ армированный БП с размерами ячеек 30 мм.

Полученные образцы подвергли механическим испытаниям на: сжатие ($P_{сж}$ по 4651-2014) и изгиб (трехточечный изгиб) ($P_{из}$ по ГОСТ 4648-2014) Схема испытаний показана на рис.5 и рис.6.

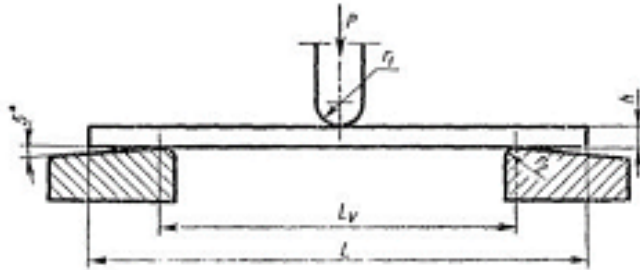


Рис.5. Схема испытания на изгиб по ГОСТ 4648-2014.

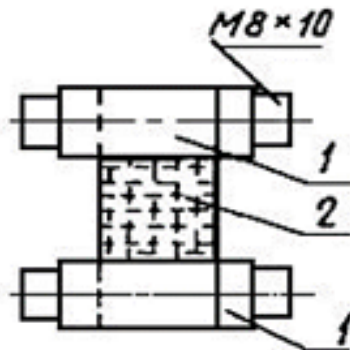


Рис.6. Схема испытания на сжатие по ГОСТ 4651-2014.1 – приспособление для крепления образца; 2 – образец.

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств опытных образцов конструкций с внутренним слоем из ППУ армированного и не армированного сотовым каркасом с различной величиной ячеек представлены рис.7 и 8, а также на графиках рис.9-13.

Из рис.7 видно, что образец при испытании на трехточечный изгиб с приложением силы в направлении, параллельном несущим слоям не разрушился. Это говорит о пластичности конструкции, когда как образец при испытании на трехточечный изгиб с приложением силы в направлении, перпендикулярном несущим слоям получил разрушение. Наблюдается хрупкость образца. Таким образом можем сказать об анизотропии свойств полученной конструкции.

Использование в среднем слое ППУ, армированного сотовым каркасом, приводит к увеличению плотности композита. Это объясняется увеличением содержания БП во внутреннем слое и снижением участия ППУ в формировании структуры композита, плотность которого ниже плотности БП. Плотность так же увеличивается с уменьшением размера ячеек.



Рис.7. Разрушение образца при испытании на трехточечный изгиб с приложением силы в направлении, параллельном несущим слоям.



Рис.8. Разрушение образца при испытании на трехточечный изгиб с приложением силы в направлении, перпендикулярном несущим слоям.

У образца с сотовым каркасом, размер ячеек которого равен 30 мм, плотность увеличивается на 10% по сравнению с образцом, со средним слоем из неармированного ППУ. У образца с размером ячеек 20 мм плотность возросла на 28%, а у образца с сотовым каркасом при размере ячеек 15 мм увеличивается на 40% по отношению к неармированному образцу. Уменьшение размера ячейки приводит к увеличению расхода ткани и соответственно массы композита.

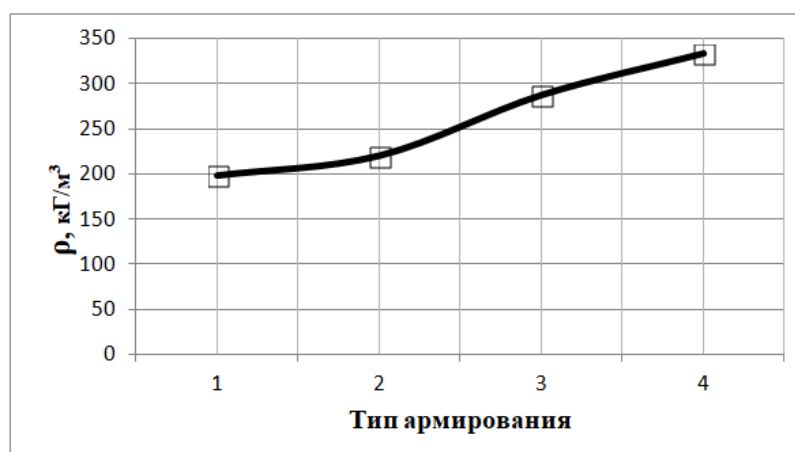


Рис.9. Зависимость плотности структуры от размера ячейки: 1 – неармированный ППУ; 2 – размер ячейки 30 мм; 3 – размер ячейки 20 мм; 4 – размер ячейки 15 мм.

Использование сотового заполнителя в многослойном композите оказывает положительное влияние на его прочностные свойства (рис.10-13). Полученные зависимости показывают увеличение разрушающей нагрузки. Оказывает влияние на физико-механические характеристики и размер ячеек, с уменьшением величины которых, прочность композита растет.

Разрушающая нагрузка при испытании на изгиб и при 10% деформации образца определялась приложением нагрузки как в направлении перпендикулярном несущим слоям, так и в направлении параллельном несущим слоям конструкции.

При испытании образцов на изгиб и сжатие, с приложением нагрузки как в направлении перпендикулярном несущим слоям композита, как и в параллельном направлении, с уменьшением размера ячеек прочностные характеристики возрастают: при изгибе – на 42% у композита с размерами ячеек 30 мм, 34% у композита с размерами ячеек 20 мм, 41% у композита с размерами ячеек 15 мм по сравнению с неармированным ППУ; при сжатии – на 9% у композита с размерами ячеек 30 мм, 12% у композита с размерами ячеек 20 мм, 20% у композита с размерами ячеек 15 мм по сравнению с неармированным ППУ.

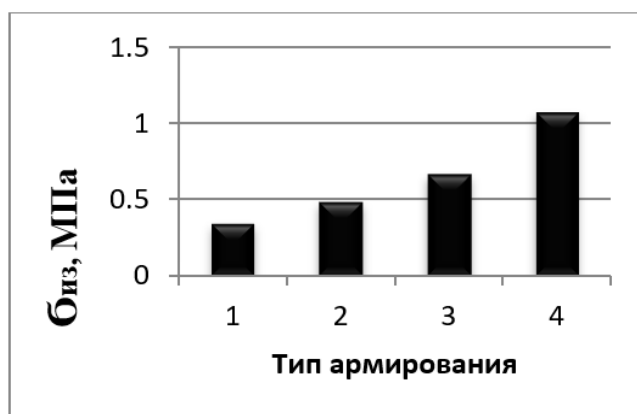


Рис.10. Прочность при испытании на трехточечный изгиб с приложением нагрузки в направлении, параллельном несущим слоям. 1 – заполнитель ППУ; 2 – размер ячейки 30 мм; 3 – размер ячейки 20 мм; 4 – размер ячейки 15 мм.

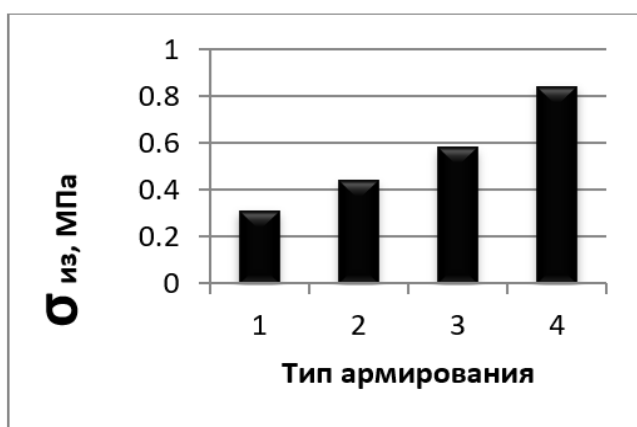


Рис.11. Прочность при испытании на трехточечный изгиб с приложением нагрузки в направлении, перпендикулярном несущим слоям.

1 – наполнитель ППУ; 2 – размер ячейки 30 мм; 3 – размер ячейки 20 мм; 4 – размер ячейки 15 мм.

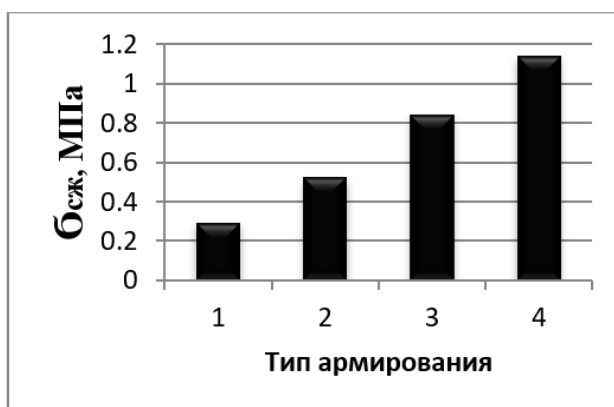


Рис.12. Прочность при испытании на сжатие в направлении, параллельном несущим слоям. 1 – неармированный ППУ; 2 – размер ячейки 30 мм; 3 – размер ячейки 20 мм; 4 – размер ячейки 15 мм.

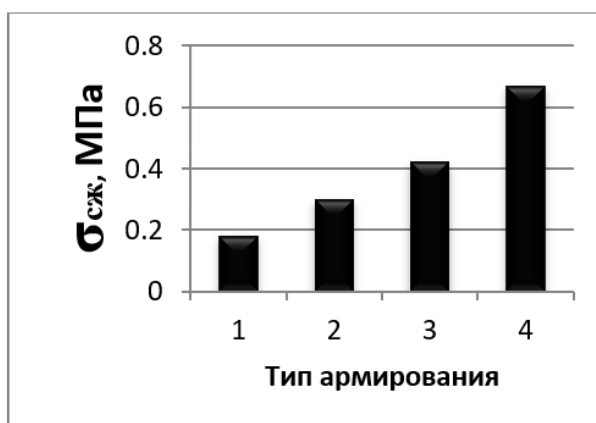


Рис.13. Прочность при испытании на сжатие в направлении, перпендикулярном несущим слоям. 1 – неармированный ППУ; 2 – размер ячейки 30 мм; 3 – размер ячейки 20 мм; 4 – размер ячейки 15 мм.

Прочностные характеристики с уменьшением размера ячеек при испытании образцов с наполнителем в виде шестигранных призм, заполненных пенополиуретаном, на статический изгиб и сжатие возрастают в 2-4 раза. Это связано с участием БП в восприятии нагрузки, прочность которого во много раз выше прочности ППУ. Снижение показателя прочности образцов композиционного материала с размерами ячеек 30 мм вызвано уменьшением участия базальтопластика в формировании прочности структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная конструкция многослойного композита, средний слой которого выполнен из базальтопластика в виде шестигранных призм, заполненных пенополиуретаном и наружного слоя из базальтовой ткани, пропитанной модифицированным эпоксидным компаундом, сформирована полностью из неметаллических материалов на основе механической связи и имеет несколько

модификаций. На основании проведенных испытаний и сравнительного анализа физико-механических характеристик, композит с сотовым армированным наполнителем обладает улучшенными прочностными характеристиками по сравнению с многослойным композитом, где средним слоем является неармированный пенополиуретан. Варьирование размером ячеек каркаса приводит к изменению прочностных свойств композита. С уменьшением размера ячеек прочностные характеристики возрастают в 2-4 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлин Ю.А. *Специальные полимерные композиционные материалы*. – СПб.: Научные основы и технологии, 2008. – 600 с.
2. Hiroshi Saito, Isao Kimpara. *Evaluation of impact damage mechanism of multi-axial stitched CFRP laminate* // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2006. – Vol.37. – Iss.12. – Pp.2226-2235.
3. Tian Zhao, Yongbo Jiang, Yangxuan Zhu, Zhishuai Wan, Xiao Dengbao, Ying Li, Huimin Li, Cheng Wu, Daining Fang. *An experimental investigation on low-velocity impact response of a novel corrugated sandwiched composite structure* // Composite Structures. – 2020. – Vol.252. – 112676.
4. Min Li, Shaokai Wang, Zuoguang Zhang, Boming Wu. *Effect of Structure on the Mechanical Behaviors of Three-Dimensional Spacer Fabric Composites* // Applied Composite Materials. – 2009. – Vol.16. – Pp.1-14.
5. Hosur M.V., Abdullah M., Jeelani S. *Dynamic compression behavior of integrated core sandwich composites* // Materials Science and Engineering: A. – 2007. – Vol.445-446. – Pp.54-64.
6. Vaidya U., Kamath M., Hosur M., Mahfuz H., Jeelani S. *Low-Velocity Impact Response of Cross-Ply Laminated Sandwich Composites with Hollow and Foam-Filled Z-Pin Reinforced Core* // J. of Composites, Technology and Research. – 1999. – Vol.21. – No.2. – Pp.84-97.
7. Ramadan Mohammed, Azzam Ahmed, Mohamed Ahmed Elgalib, Hashim Ali. *A Brief Review. Low Velocity Impact Properties of Foam Sandwich Composites: A Brief Review* // J. of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT). – 2014. – Vol.3. – Iss.2. – Pp.579-591.
8. Heimbs S., Kilchert S., Fischer S., Klaus M., Baranger E. *Sandwich structures with folded core: mechanical modeling and impact simulations* / SAMPE Europe international conference. – Paris; 2009. – Pp.324-331.
9. Берлин А.А. и др. *Принципы создания композиционных полимерных материалов*. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
10. Трофимов А.Н., Плешков Л.В. *Многослойные композиты с высокими удельными упруго-прочностными характеристиками на основе полых стеклянных микросфер* / 2-я научно-практич. конф. «Применение композиционных материалов в гражданском и военном авиастроении». Материалы конференции. – Жуковский, 2011. – С.1-7.
11. Пономарева Г.П., Артеменко А.А., Сладков О.М., Пономарев М.В. *Теплоизоляционный слоистый полимерный композиционный материал* // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010. – №1. – С.47-48.
12. Пономарев М.В., Пономарева Г.П., Сладков О.М., Артеменко А.А. *Определение физико-механических характеристик несущего слоя*

многослойного композиционного материала // Вестник СГТУ. – 2012. – №2(25). – С.46-50.

REFERENCES

1. Mikhailin Yu.A. *Spetsial'nye polimernye kompozitsionnye materialy [Special polymeric composite materials]*. Sankt-Peterburg, Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2008, 600 p.
2. Hiroshi Saito, Isao Kimpara. *Evaluation of impact damage mechanism of multi-axial stitched CFRP laminate*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2006, Vol.37, Iss.12, Pp.2226-2235.
3. Tian Zhao, Yongbo Jiang, Yangxuan Zhu, Zhishuai Wan, Xiao Dengbao, Ying Li, Huimin Li, Cheng Wu, Daining Fang. *An experimental investigation on low-velocity impact response of a novel corrugated sandwiched composite structure*. Composite Structures, 2020, Vol.252, 112676.
4. Min Li, Shaokai Wang, Zuoguang Zhang, Boming Wu. *Effect of Structure on the Mechanical Behaviors of Three-Dimensional Spacer Fabric Composites*. Applied Composite Materials, 2009, Vol.16, Pp.1-14.
5. Hosur M.V., Abdullah M., Jeelani S. *Dynamic compression behavior of integrated core sandwich composites*. Materials Science and Engineering: A, 2007, Vol.445-446, Pp.54-64.
6. Vaidya U., Kamath M., Hosur M., Mahfuz H., Jeelani S. *Low-Velocity Impact Response of Cross-Ply Laminated Sandwich Composites with Hollow and Foam-Filled Z-Pin Reinforced Core*. J of Composites, Technology and Research, 1999, Vol.21, No.2, Pp.84-97.
7. Ramadan Mohammed, Azzam Ahmed, Mohamed Ahmed Elgalib, Hashim Ali. *A Brief Review. Low Velocity Impact Properties of Foam Sandwich Composites: A Brief Review*. J of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), 2014, Vol.3, Iss.2, Pp.579-591.
8. Heimbs S., Kilchert S., Fischer S., Klaus M., Baranger E. *Sandwich structures with folded core: mechanical modeling and impact simulations*. SAMPE Europe international conference, Paris; 2009, Pp.324-331.
9. Berlin A.A. etc. *Printsipy sozdaniya kompozitsionnykh polimernykh materialov [Principles of creation of composite polymeric materials]*. Moskva, Khimiya, 1990, 240 p.
10. Trofimov A.N., Pleshkov L.V. *Mnogoslojnye kompozity s vysokimi udel'nymi uprugo-prochnostnymi kharakteristikami na osnove polykh steklyannykh mikrosfer [Multilayered composites with high specific elastic-strength characteristics on the basis of hollow glass microspheres]*. 2-ya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Primenenie kompozitsionnykh materialov v grazhdanskom i voennom aviastroenii", Materialy konferentsii, Zhukovskij, 2011, Pp.1-7.
11. Ponomareva G.P., Artemenko A.A., Sladkov O.M., Ponomarev M.V. *Teploizolyatsionnyj sloistyj polimernyj kompozitsionnyj material [Thermal insulation laminated polymer composite materials]*. Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie, 2010, No.1, Pp.47-48.
12. Ponomarev M.V., Ponomareva G.P., Sladkov O.M., Artemenko A.A. *Opreделение fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik nesushhego sloya mnogoslojnogo kompozitsionnogo materiala [Determination of physical and mechanical characteristics of the carrier layer of the multilayer composite material]*. Vestnik

Поступила в редакцию 11 марта 2021 года.

Сведения об авторах:

Пономарева Галина Павловна – к.т.н., доц., доц. каф., Кафедра «Инженерные, гуманитарные, естественнонаучные и общепрофессиональные дисциплины», Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Саратове, г. Саратов, Россия; e-mail: Pgp54@mail.ru

Попова Ирина Михайловна – к.т.н., доц., зав. каф., Кафедра «Инженерные, гуманитарные, естественнонаучные и общепрофессиональные дисциплины», Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Саратове, г. Саратов, Россия

Сладков Олег Михайлович – к.т.н., доц., доц. каф., Кафедра «Инженерные, гуманитарные, естественнонаучные и общепрофессиональные дисциплины», Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Саратове, г. Саратов, Россия; e-mail: SOM-1956@mail.ru

Пономарев Максим Валентинович – инж., Саратовский филиал ООО «Газпром проектирование», г. Саратов, Россия; e-mail: bjmax@mail.ru

Гончарова Татьяна Павловна – к.т.н., доц. каф., Кафедра «Инженерные, гуманитарные, естественнонаучные и общепрофессиональные дисциплины», Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Саратове, г. Саратов, Россия; e-mail: gtp19@mail.ru

Хитрова Наталия Валерьевна – к.т.н., доц., доц. каф., Кафедра «Инженерные, гуманитарные, естественнонаучные и общепрофессиональные дисциплины», Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Саратове, г. Саратов, Россия; e-mail: khitrova.nataliya@yandex.ru