

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ И СТЕКЛЯННЫХ ТКАНЕЙ

**М.Е. Журковский, В.В. Самойленко, В.В. Фирсов, А.Н. Блазнов, Е.В. Атясова**  
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск*

Актуальность работы заключается в исследовании гибридных полимерных композиционных материалов на основе углеродных и стеклянных тканей и эпоксидного связующего. Целью работы является исследование упруго-прочностных свойств гибридных материалов в зависимости от расположения и содержания слоев угле- и стеклопластика. Изготовлено 7 видов образцов с различным расположением слоев и количеством углеродной ткани. При испытаниях на продольный изгиб определены прочность, модуль упругости и предельная деформация пластин. Показано, что наибольшую прочность 768 МПа и модуль 51,2 ГПа имеет пластина из углепластика, прочность и модуль упругости пластины из стеклопластика ниже и составляют 303 МПа и 11,7 ГПа, соответственно. Упруго-прочностные характеристики гибридных композитов зависят от содержания углеродного наполнителя, расположения его слоев при формовании и испытаниях. Отмечено, что при отношении стекло – и углеволокна 50:50 наилучшие свойства получены при чередовании слоев стеклоткани и углеткани (прочность 585 МПа, модуль 30,8 ГПа), в то время как расположение подряд 5 слоев стеклоткани и 5 слоев углеткани приводит к снижению свойств (прочность 476 МПа, модуль 23,9 ГПа), причем наибольшие свойства получены у пластины с расположении слоев стеклоткани в растянутой зоне при изгибе, углеткани – в сжатой.

*Ключевые слова:* пластины, стеклоткань, углеткань, продольный изгиб, гибридные материалы, прочность, модуль упругости, жесткость.

## ВВЕДЕНИЕ

Опыт отечественных и зарубежных исследований показывает, что применение гибридных композиций позволяет получить материалы с более сбалансированным комплексом свойств при относительно небольшом повышении стоимости. При использовании в гибридных композициях материалов со специальными характеристиками, конструкции, выполненные с их применением, могут приобретать полифункциональные свойства, что свидетельствует о широких возможностях композиций при соответствующем выборе их состава и структуры.

Создание гибридных полимерных композиционных материалов, совмещающих два и более типов волокон – стеклянных, органических, углеродных и борных, является перспективным направлением развития современной техники, поскольку обуславливает расширение возможности создания материалов с заданными свойствами. Наиболее существенным фактором, влияющим на характер механического поведения гибридных полимерных композиционных материалов, в особенности при растяжении, является величина предельных деформаций волокон, армирующих материал. Органостеклопластики и углеборопластики имеют близкие деформативные характеристики волокон [1-7].

Совмещение стеклянных и органических волокон позволяет получить материалы, с одной стороны, с более высокой прочностью при сжатии и сдвиге (по сравнению с органопластками), с другой стороны, повысить удельные характеристики гибридной систе-

мы при растяжении (по сравнению со стеклопластиком). В то же время гибридные полимерные материалы на основе сочетания стеклянных и углеродных волокон обладают более высоким модулем упругости по сравнению со стеклопластиком, при этом сохраняются удельные характеристики прочности материалов при сжатии и незначительно снижаются при растяжении, следовательно, увеличивается работа разрушения образцов [8-14].

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для определения оптимального соотношения количества углеволокон в композиционном материале были изготовлены семь плит с разным соотношением компонентов и с разным их расположением в образце. Плиты изготавливались из листов стеклоткани и ткани из углеволокна Carbon.

Для изготовления пластин была проведена подготовка форм и исходных компонентов.

Стеклоткань и углеткань непосредственно перед изготовлением пластин предварительно сушили в течение двух часов в сушильном шкафу при температуре 100 °С.

Для приготовления связующего использовались компоненты: ЭД-20 – 100 м.ч., изо-МТГФА – 85 м.ч., ускоритель УП 606/2 – 1 м.ч. Перед использованием связующее подогревалось до 60 °С.

Пресс-форма, изготовленная из двух стальных пластин предварительно очищалась спиртом и смазывалась антиадгезивом, далее прогревалась до 100 °С.

Образцы изготавливали путем укладки на пластину пресс-формы стеклоткани и углеткани размерами 20x20 в разной последовательности в 10 слоев, при укладке каждый слой пропитывали связующим с помощью кисточки. После укладки каждого слоя ткани сверху помещали полиэтиленовую пленку и путем укатки валиком выгоняли воздушные пузыри, после аккуратно производили удаление пленки и наносили следующий слой ткани.

Чтобы добиться равномерности получаемых образцов материала по толщине, перед стягиванием

болтами формы на нижнюю стальную пластину помещали ограничители сжатия толщиной 2 мм.

Режим отверждения производился по схеме: 30 минут при 120 °С, далее 120 минут при 150 °С, после форма остывала до комнатной температуры и изготовленная пластина извлекалась из формы.

На рисунке 1 показано расположение слоев стекло- и углеткани в полученных композитных пластинах.

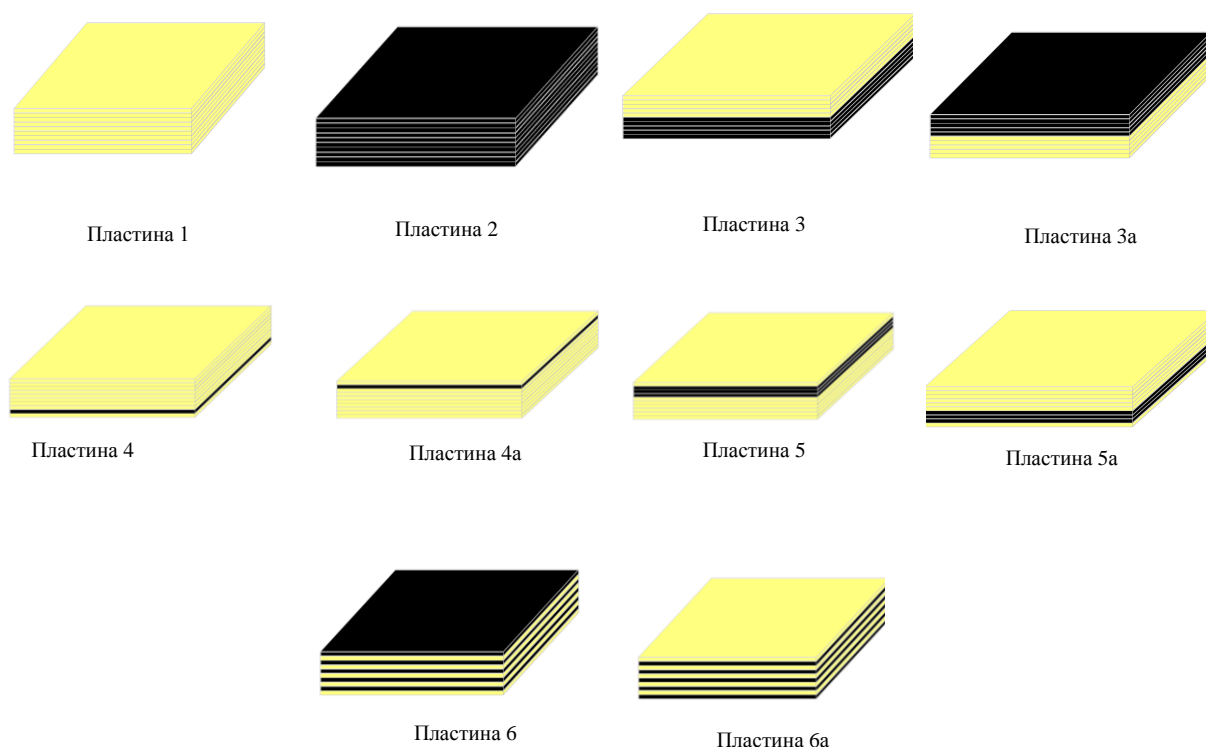


Рис. 1. Расположение слоев стекло- и углеткани в изготовленных пластинах

Из полученных пластин изготавливались образцы размерами 110 x 12 x 2 мм. Прочностные характеристики образцов определяли испытанием их на продольный изгиб [15-17]. Используемая установка приведена на рисунке 2.

Метод основан на продольном изгибе шарнирно опертого образца композиционного материала заданных размеров и формы до разрушения. При изгибе образца регистрируют значения продольной силы  $P$  и величины взаимного перемещения (сближения) концов образца  $\Delta$ . Расположение слоев при испытаниях согласно схеме рис. 1, изгибом вверх: вверху – растянутые слои, внизу – сжатые слои.

По полученным зависимостям нагрузка - перемещение автоматическим программным способом производят расчет предела прочности  $\sigma_{\text{пн}}$ , предельной деформации  $\epsilon_{\text{пн}}$  и модуля Юнга  $E_{\text{пн}}$ . [15, 16].



Рис. 2. Установка для испытаний на продольный изгиб  
Типичные кривые нагружения образцов в координатах деформация – напряжение приведены на рисун-

ке 3. Для наглядности на рисунке объединены попарно кривые нагружения пластин с одинаковым соотношением слоев угле- и стеклопластика (кроме пластин 1, 2), но с разным их расположением при испытаниях. Свойства пластин 1, 2 (рис. 3а) можно рассматривать как исходные свойства материалов для гибридизации – видно, что углепластик по модулю Юнга и прочности превосходит стеклопластик. Угол наклона кривой нагружения на рис. 3 характеризует модуль Юнга, следовательно, можно заключить, что добавка углеткани существенно повышает модуль Юнга гибридных материалов.

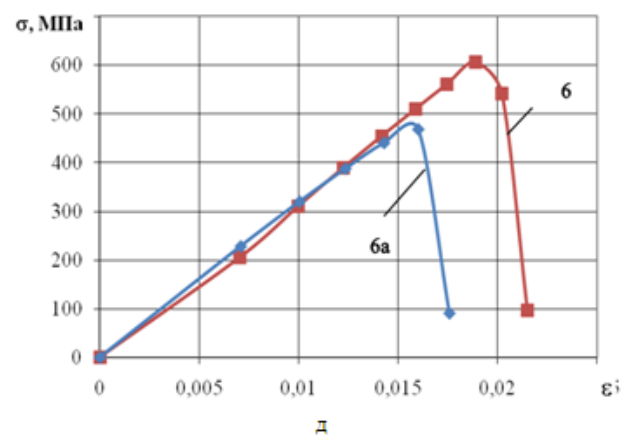
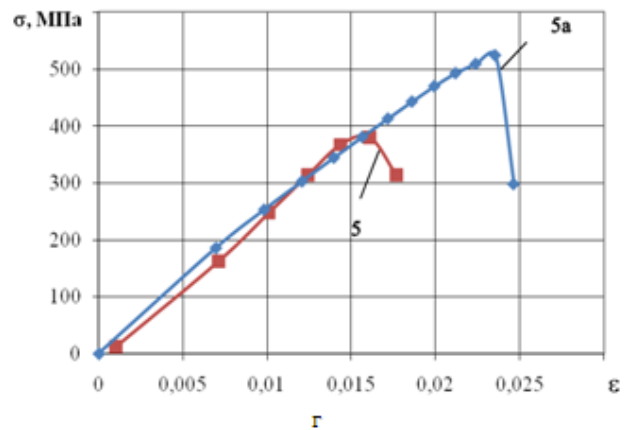
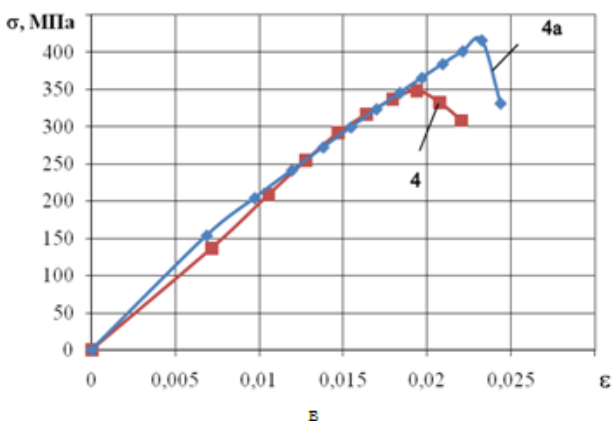
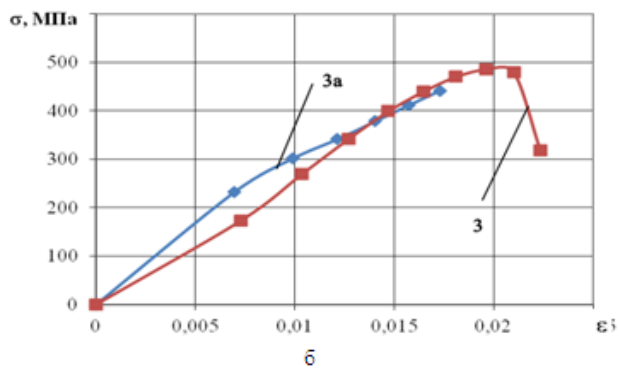
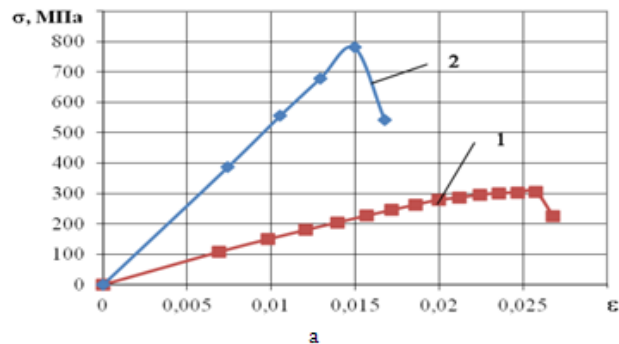


Рис. 3. Диаграммы нагружения продольным изгибом образцов (а-д), обозначение номеров соответствуют пластинам на рис. 1

Расположение слоев при изгибе существенно влияет на прочность: отмечено, что прочность выше у пластины 3, 5а (рис. 3 б, г) при расположении стеклоткани в верхней, растянутой зоне, а углеткани – в нижней, сжатой. Это может объясняться высокой жесткостью углепластиков и высокой деформативностью стеклопластиков (рис. 3а)

В таблице 1 приведены результаты определения прочности, модуля упругости и предельной деформации при испытании пластин продольным изгибом.

Табл. 1. Прочностные характеристики образцов гибридных пластин, испытанных на продольный изгиб

№ образца	$\sigma_{изг}$ , МПа	$\epsilon$ , %	$E_{пл}$ , МПа	$\sigma_{изг}$ , МПа	$\epsilon$ , %	$E_{пл}$ , МПа
Пластина № 1, стеклопластик			Пластина № 2, углепластик			
1	305,08	2,44	12504,30	695	1,31	52994
2	336,69	2,79	12067,16	781	1,64	47510
3	318,39	2,58	12328,34	797	1,51	52775
4	299,21	2,62	11017,06	781	1,53	50922
5	264,84	2,45	10808,99	784	1,51	52011
Ср. значение	302,64	2,58	11745,17	768	1,50	51243
Пластина № 3 стеклоуглепластик			Пластина № 3а углестеклопластик			
1	486	2,04	23756	441	2,25	19609
2	489	2,11	23120	490	2,80	17485
3	478	1,90	25195	453	2,42	18740
4	478	1,79	26637	399	2,01	19836
5	448	2,10	20890	478	2,67	17916
Ср. значение	476	1,99	23920	452	2,43	18712
Пластина 4 стекло-угле-стеклопластик			Пластина 4а стекло-угле-стеклопластик			
1	384	2,10	18297	416	2,59	16032
2	348	2,17	16030	414	2,58	16054
3	362	1,83	19767	433	2,77	15609
4	383	1,94	19762	467	2,93	15944
5	262	1,89	19146	479	3,19	15016
Ср. значение	368	1,99	18598	442	2,81	15731
Пластина 5 стекло-угле-стеклопластик			Пластина 5а стекло-угле-стеклопластик			
1	380	1,66	22847	504	2,49	20284
2	351	1,46	24074	524	2,46	21264
3	381	2,21	17250	511	2,52	20292
4	375	3,17	11854	493	2,29	21549
5	373	2,71	13791	479	2,22	21562
Ср. значение	372	2,24	17963	502	2,40	20990
Пластина 6 угле-стеклопластик			Пластина 6а стекло-углепластик			
1	616	1,82	33797	468	1,85	25275
2	606	1,85	32679	453	1,47	30813
3	528	2,12	24889	537	1,87	28657
4	556	1,72	32355	546	1,94	28147
5	620	2,05	30317	550	1,97	27973
Ср. значение	585	1,91	30807	511	1,82	28173

Из анализа данных рисунка 3 и таблицы 1, при содержании 50 % углеродной и 50 % стеклянной ткани выявлено наиболее эффективное расположение с чередованием слоев композита. Средние значения прочности 585 МПа и модуля упругости 30,8 ГПа гибридных композитов с чередованием 5 слоев угле-ткани и 5 слоев стеклоткани превосходят средние значения прочности 476 МПа и модуля упругости 23,9 ГПа композитов с укладкой подряд 5 слоев угля и затем 5 слоев стекла.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены комбинированные пластины из стеклянной и углеродной ткани с различным расположением и разным количеством слоев углепластика, определено наилучшее расположение углепластика внутри стеклопластикового пакета и физико-механические характеристики.

*Работа выполнена при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Артеменко, С.Е. Базальтопластики – полимерные композиционные материалы XXI века / С.Е. Артеменко, Ю.А. Кадыкова, О.Г. Васильева // Вестник саратовского государственного технического университета. – 2005. – Т. 2. – № 1(7). – С. 32-35.
- Теряева, Т.Н. Изменение длины стекловолокна в процессе деформирования композиционного полимерного материала на основе термореактивной матрицы / Т.Н. Теряева // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 6(94). – С. 85-88.
- Паршина, Л.В. Исследование остаточных напряжений в гибридных полимерных композиционных материалах / Л.В. Паршина // Вопросы материаловедения. – 2001. – № 1. – С. 24-31.
- Кудинов, В.В. Гибридные полимерные композиционные материалы / В.В. Кудинов, Н.В. Корнеева, И.К. Крылов, В.И. Мамонов, М.В. Геров // Физика и химия обработки материалов. – 2008. – № 2. – С. 32-37.
- Герасин, В.А. Новые подходы к созданию гибридных полимерных нанокompозитов: от конструкционных материалов к высокотехнологичным применениям / В.А. Герасин, Е.М. Антипов, В.В. Карбушев, В.Г. Куличихин, Г.П. Карпачева, Р.В. Тальрозе, Я.В. Кудрявцев // Успехи химии. – 2013. – Т. 82. – № 4. – С. 303-332.
- Федонюк, Н.Н. Проектирование конструкций из гибридных полимерных композиционных материалов по прототипу и результаты исследований по выбору их рациональных составов и структур / Н.Н. Федонюк // Труды ЦНИИ им. Акад. А.Н. Крылова. – 2011. – № 58. – С. 59-90.
- Соловьянич, Л.В. Новый подход для придания ПКМ функциональных свойств / Л.В. Соловьянич, С.В. Кондрашов, К.А.

Шашкеев, П.С. Мараховский, М.А. Солдатов // Труды ВИАМ. – 2017. – № 4(52). – С. 5.

8. Каблов, Е.Н. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов / Е.Н. Каблов, С.В. Кондрашов, Г.Ю. Юрков // Российские нанотехнологии. – 2013. – Т. 8. – № 3-4. – С. 24-42.

9. Шаулов, А.Ю. Неорганические и гибридные полимеры / А.Ю. Шаулов, А.А. Берлин // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2011. – № 9. – С. 22-32.

10. Колосова, А.С. Наполнители для модификации современных композиционных материалов / А.С. Колосова, М.К. Сокольская, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 10-3. – С. 459-465.

11. López-Barroso, J. Multidimensional Nanocomposites of Epoxy Reinforced with 1D and 2D Carbon Nanostructures for Improve Fracture Resistance / López-Barroso Juventino, Ana Laura Martínez-Hernández, José Luis Rivera-Armenta, Carlos Velasco-Santos // Polymers. – 2018. – 10(3). – P. 81.

12. Liu, Chen. Polyetheretherketone Hybrid Composites with Bioactive Nanohydroxyapatite and Multiwalled Carbon Nanotube Fillers / Chen Liu, Kai Wang Chan, Jie Shen, Cheng Zhu Liao, Kelvin Wai Kwok Yeung, Sie Chin Tjong // Polymers. – 2016. – 8(12). – P. 425.

13. Kai Wang Chan. Polypropylene Biocomposites with Boron Nitride and Nanohydroxyapatite Reinforcements / Kai Wang Chan, Hoi Man Wong, Kelvin Wai Kwok Yeung, Sie Chin Tjong // Materials. – 2015. – 8. – P. 992-1008.

14. Немировский, Ю.В. Определение эффективных термомеханических характеристик однонаправленного армированного гибридного композита в рамках несимметричной теории упругости / Ю.В. Немировский, А.П. Янковский // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2009. – Т. 15. – № 3. – С. 383-394.

15. Блазнов, А.Н. Методы механических испытаний композиционных стержней: монография / А.Н. Блазнов, В.Ф. Савин, Ю.П. Волков, А.Я. Рудольф, О.В. Старцев, В.Б. Тихонов; под ред. А.Н. Блазнова, В.Ф. Савина. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. – 314 с.

16. Пат. 2451281. Российская Федерация, МПК G01N. Способ определения механических характеристик стержней из полимерных композиционных материалов и устройство для его реализации (варианты) / Рудольф А.Я., Поздеев С.П., Савин В.Ф., Луговой А.Н., Блазнов А.Н., Старцев О.В., Тихонов В.Б., Локтев М.Ю.: заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Бийский завод стеклопластиков» (RU). - № 2010139689/28; заявл. 27.09.2010; опубл. 20.05.2012; бюл. № 14. – 12 с.: ил.

17. Блазнов, А.Н. Влияние степени отверждения связующего на температуру стеклования композитных материалов / А.Н. Блазнов, Е.В. Атясова, Н.В. Бычин, И.К. Шундрин, Н.Н. Ходакова, В.В. Самойленко // Южно-сибирский научный вестник. [Электронный ресурс] / 2016. № 1(13). – С. 13–20.

*Журковский Максим Евгеньевич – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Самойленко Вячеслав Владимирович – ведущий инженер лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Фирсов Вячеслав Викторович – ведущий инженер лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

*Блазнов Алексей Николаевич – д.т.н., доцент, заведующий лабораторией материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305885, e-mail: blaznov74@mail.ru.*

*Атясова Евгения Владимировна – к.т.н., инженер лаборатории материаловедения минерального сырья, ИПХЭТ СО РАН, тел. (3854)305906, e-mail: labmineral@mail.ru*

# STRUCTURAL BEHAVIOR OF HYBRID MATERIALS BASED ON CARBON AND GLASS FABRICS

M.E. Zhurkovsky, V.V. Samoilenko, V.V. Firsov, A.N. Blaznov, E.V. Atyasova

*Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk*

This work is relevant in that it investigates hybrid polymer composite materials based on carbon- and glass-fiber fabrics and epoxy resin. This study aimed to explore the elastic and structural behavior of hybrid materials depending on the arrangement and content of carbon- and glass-reinforced plastic layers. Seven types of specimens were fabricated with different layer arrangement and carbon fabric content. The strength, elastic modulus and ultimate strain of the plates were measured by buckling test. The plate made of the carbon fiber-reinforced plastic was found to have the highest strength of 768 MPa and the highest elastic modulus of 51.2 GPa, while the glass-reinforced plastic plate had lower strength and elastic modulus of 303 MPa and 11.7 GPa, respectively. The elastic and structural behavior of the hybrid composites depend on the carbon filler content and its layer arrangement during shaping and testing. At a glass and carbon fiber ratio of 50:50, the best properties were obtained by alternating the layers of the glass fabric and carbon fabric (585 MPa strength, 30.8 GPa elasticity), while the arrangement of 5 glass fabric layers and 5 carbon fabric layers in succession impaired the properties (476 MPa strength, 23.9 GPa elasticity); moreover, the best behavior was achieved for a plate wherein the glass fabric layers were arranged in the tension region under bending and the carbon fabric layers in the compression region.

*Index terms: plates, glass fabric, carbon fabric, longitudinal bending, hybrid materials, strength, elastic modulus, rigidity.*

## REFERENCES

1. Artyomenko, S.E. Basalt fiber-reinforced plastics – polymer composite materials of the XXI century / S.E. Artyomenko, Yu.A. Kadykova, O.G. Vasilyeva // *Vestnik Saratovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. – 2005. – V. 2. – No. 1(7). – pp. 32-35.
2. Teryayeva, T.N. Measurement of the glass fiber length during deformation of thermosetting matrix-based composite polymer material / T.N. Teryayeva // *Vestnik Kuzbasskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. – 2012. – No. 6(94). – pp. 85-88.
3. Parshina, L.V. A study of residual stresses in hybrid polymer composite materials / L.V. Parshina // *Voprosy Materialovedeniya*. – 2001. – No. 1. – pp. 24-31.
4. Kudinov, V.V. Hybrid polymer composite materials / V.V. Kudinov, N.V. Korneyeva, I.K. Krylov, V.I. Mamonov, M.V. Herov // *Physics and Chemistry of Materials Treatment*. – 2008. – No. 2. – pp. 32-37.
5. Gerasin, V.A. New approaches to creating hybrid polymer nanocomposites: from structural materials to high-tech applications / V.A. Gerasin, E.M. Antipov, V.V. Karbushev, V.G. Kulichikhin, G.P. Karpacheva, R.V. Talrose, Ya.V. Kudryavtsev // *Uspekhi Khimii*. – 2013. – V. 82. – No. 4. – pp. 303-332.
6. Fedonyuk, N.N. Designing structures from hybrid polymer composite materials against a prototype and study results on the selection of their rational formulations and structures / N.N. Fedonyuk // *Transactions of the Krylov State Research Centre*. – 2011. – No. 58. – pp. 59-90.
7. Solovyanchik, L.V. A new approach to functionalizing polymer composite / L.V. Solovyanchik, S.V. Kondrashov, K.A. Shashkeyev, P.S. Marakhovskiy, M.A. Soldatov // *Trudy VIAM*. – 2017. – No. 4(52). – p. 5.
8. Kablov, E.N. Prospects of using carbon-bearing nanoparticles in binders for polymer composite materials / E.N. Kablov, S.V. Kondrashov, G.Yu. Yurkov // *Russian Nanotechnologies*. – 2013. – V. 8. – No. 3-4. – pp. 24-42.
9. Shaulov, A.Yu. Inorganic and hybrid polymers / A.Yu. Shaulov, A.A. Berlin // *Vse Materialy. Entsiklopedicheskii Spravochnik*. – 2011. – No. 9. – pp. 22-32.
10. Kolosova, A.S. Nanofillers to modify advanced composite materials / A.S. Kolosova, M.K. Sokolskaya, I.A. Vitkalova, A.S. Torlova, E.S. Pikalov // *Fundamental Research*. – 2017. – No. 10-3. – pp. 459-465.
11. López-Barroso, J. Multidimensional Nanocomposites of Epoxy Reinforced with 1D and 2D Carbon Nanostructures for Improve Fracture Resistance / López-Barroso Juventino, Ana Laura Martínez-Hernández, José Luis Rivera-Armenta, Carlos Velasco-Santos // *Polymers*. – 2018. – 10(3). – P. 81.
12. Liu, Chen. Polyetheretherketone Hybrid Composites with Bioactive Nanohydroxyapatite and Multiwalled Carbon Nanotube Fillers / Chen Liu, Kai Wang Chan, Jie Shen, Cheng Zhu Liao, Kelvin Wai Kwok Yeung, Sie Chin Tjong // *Polymers*. – 2016. – 8(12). – P. 425.
13. Kai Wang Chan. Polypropylene Biocomposites with Boron Nitride and Nanohydroxyapatite Reinforcements / Kai Wang Chan, Hoi Man Wong, Kelvin Wai Kwok Yeung, Sie Chin Tjong // *Materials*. – 2015. – 8. – P. 992-1008.
14. Nemirovskiy, Yu.V. Determination of effective thermomechanical behavior of unidirectional reinforced hybrid composites under the asymmetric theory of elasticity / Yu.V. Nemirovskiy, A.P. Yankovskiy // *Mechanics of composite materials and structures*. – 2009. – V. 15. – No. 3. – pp. 383-394.
15. Blaznov, A.N. Mechanical testing methods of composite bars: monograph / A.N. Blaznov, V.F. Savin, Yu.P. Volkov, A.Ya. Rudolf, O.V. Startsev, V.B. Tikhonov; Eds: A.N. Blaznov, V.F. Savin. – Biysk: ASTU Press, 2011. – 314 p.
16. RU Patent 2451281, MPK G01N. A method for the determination of mechanical characteristics of bars made of polymer composite materials and a device to implement the same (variants) / Rudolf A.Ya., Pozdeyev S.P., Savin V.F., Lugovoy A.N., Blaznov A.N., Startsev O.V., Tikhonov V.B., Loktev M.Yu.: applicant and patent owner Biysk Factory of Glass Fiber-Reinforced Plastics (RU). – No. 2010139689/28; applied. 27.09.2010; published 20.05.2012; Bull. No. 14. – 12 p.: illustrated.
17. Blaznov, A.N. The effect of the binder curing degree on the glass transition of composite materials / A.N. Blaznov, E.V. Atyasova, N.V. Bychin, I.K. Shundrina, N.N. khodakova, V.V. SAmoilenko // *South-Siberian Scientific Bulletin. [Electronic resource]* / 2016. No. 1(13). – pp. 13–20.

*Zhurkovsky Maksim Evgenievich – postgraduate, Junior Research Scientist at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: [labmineral@mail.ru](mailto:labmineral@mail.ru)*

*Samoilenko Vyacheslav Vladimirovich – Lead Engineer at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: [labmineral@mail.ru](mailto:labmineral@mail.ru)*

*Firsov Vyacheslav Viktorovich – Lead Engineer at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: [labmineral@mail.ru](mailto:labmineral@mail.ru)*

*Blaznov Aleksey Nikolayevich – Dr. (Engin.), Assoc. Prof., Chief of the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305885, e-mail: [blaznov74@mail.ru](mailto:blaznov74@mail.ru).*

*Atyasova Evgenia Vladimirovna – Cand. Sci. (Engin.), Engineer at the Laboratory of Materials Science and Mineral Raw Materials, IPCET SB RAS, tel.: (3854)305906, e-mail: [labmineral@mail.ru](mailto:labmineral@mail.ru)*