

УДК 69.07+69.058

**Карасев И.В.** – студент

E-mail: [ilya.karasev.1993@mail.ru](mailto:ilya.karasev.1993@mail.ru)

**Майстренко И.Ю.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [igor\\_maystr@mail.ru](mailto:igor_maystr@mail.ru)

**Куклин А.Н.** – заведующий лабораторией

E-mail: [labmost@kgasu.ru](mailto:labmost@kgasu.ru)

**Хозин В.Г.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [khozin@kgasu.ru](mailto:khozin@kgasu.ru)

**Гиздатуллин А.Р.** – аспирант

E-mail: [antonchiks@mail.ru](mailto:antonchiks@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

## Экспериментальное исследование работы поликарбонатных модульных систем

### Аннотация

В данной статье рассмотрен комплекс статических испытаний образцов кровельных и фасадных поликарбонатных панелей с целью получения данных по их несущей способности и деформативности для использования этих данных при проектировании и строительстве. Определены значения несущей способности панелей при достижении прогибов 1/10, 1/25 пролета. Определены рекомендуемые шаги опор для устройства кровельных и фасадных поликарбонатных панелей. Определен диапазон допустимых максимальных радиусов загибов кровельных панелей. Определена несущая способность узлов соединений фасадных панелей.

**Ключевые слова:** поликарбонатная панель, покрытие, несущая способность, деформативность.

### Введение

Цель работы состоит в оценке несущей способности панелей при изгибе, прочности соединения панелей с кляммерами и определении характера разрушения панелей.

При подготовке данных исследований были проанализированы научные работы российских ученых [1-8].

Для достижения поставленной цели предстояло решить следующие задачи:

- оценить соответствие представленных образцов к заявленным требованиям ТУ «КАРБОГЛАСС»;

- разработать методику проведения испытаний;

- провести испытания панелей различных модульных систем;

- проанализировать результаты испытаний, включая несущую способность панелей, максимально допустимых шагов опор для панелей, максимально допустимые радиусы загиба кровельных панелей, несущую способность креплений фасадных панелей при отрицательной нагрузке (нагрузки с внутренней стороны) и характера разрушения панелей.

По данным производителя ЗАО «КАРБОГЛАСС» поликарбонатные модульные системы – это панели сотовые из поликарбоната «CARBOGLASS pro», изготавливаются методом соэкструзии с защитным УФ-покрытием. Панели предназначены для применения в строительстве для создания светопрозрачных покрытий, фонарей верхнего света, фасадных конструкций, ленточного остекления, при остеклении пешеходных переходов и путепроводов, создании навесов над железнодорожными платформами и автобусными станциями, изготовлении откатных ворот и фасадных конструкций ангаров, шумозащитных ограждениях (ТУ 5772-006-70212577-2013. Панели поликарбонатные для модульных систем «CARBOGLASS pro»).

В испытаниях использовались образцы модульных панелей с маркировкой МСК 10, МСК 20 и МСФ20, МСФ40 соответственно, кровельного и фасадного типа, согласно ТУ 5772-006-70212577-2013 разработанного ЗАО «КАРБОГЛАСС» (рис. 1).

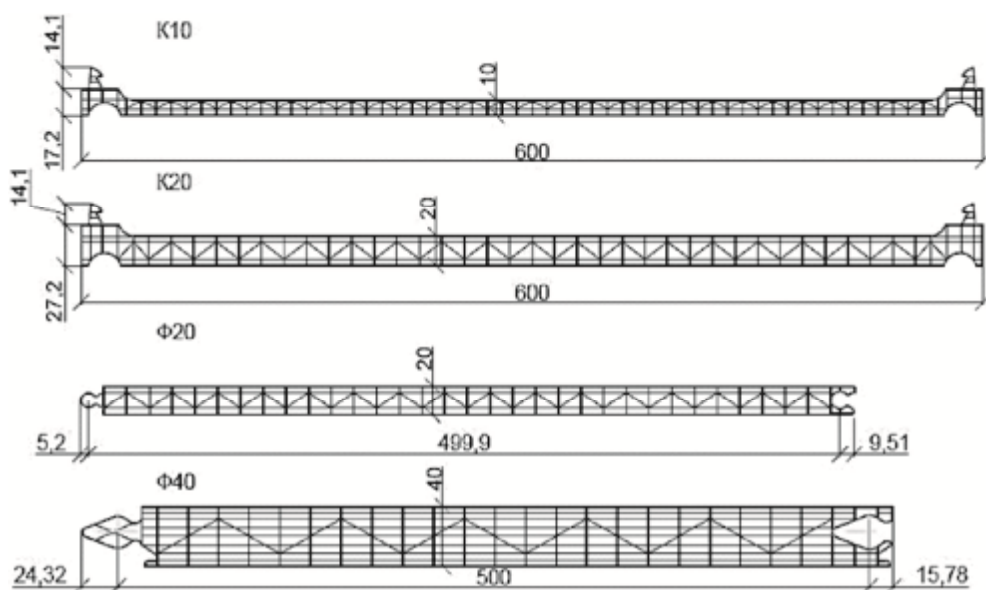


Рис. 1. Геометрические параметры сечения панелей

Инструментальные измерения показали, что панели имеют прямоугольную форму, разность длин диагоналей не превышает 10 мм, ширина панелей составляет 600 мм для кровельных панелей и 500 мм для фасадных, предельные отклонения от номинальной ширины не превышают 5 мм, при номинальной длине изготавливаемых панелей 6000 и 12000 мм. Для испытаний используются образцы, нарезанные по длине: 1500, 3000, 4500, 5100 и 7200 мм. Толщина панелей – 10, 20 и 40 мм.

#### Методика проведения испытаний

Испытание панелей производилось в соответствии с требованиями ГОСТ (ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010). Пластмассы. Метод испытаний на статический изгиб) в лабораторных условиях при температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $(50 \pm 5)\%$  по ГОСТ (ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытаний образцов).

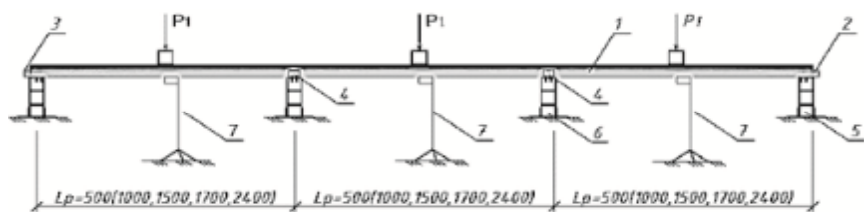


Рис. 2.

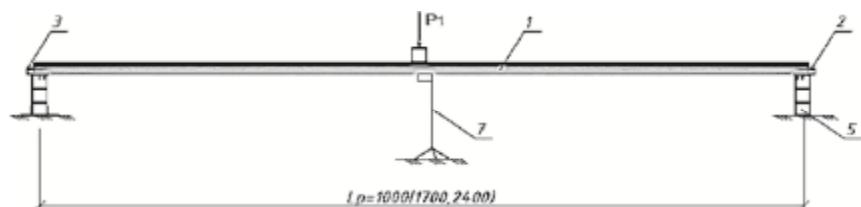


Рис. 3.

Рис. 2-3. Схема испытаний однопролетных панелей на изгиб: 1 – испытуемая панель; 2 – профиль фасадный холодный нижний 20 мм, профиль фасадный холодный нижний 40 мм; 3 – профиль фасадный холодный верхний 20 мм, профиль фасадный холодный верхний 40 мм; 4 – крепление панели; 5 – крайняя опора; 6 – промежуточная опора; 7 – прогибомер

Испытаниям подвергались по 3 образца каждого типа панелей.

Расчетная схема испытания для кровельных панелей неразрезная шарнирная балка-плита на 4-х опорах – трехпролетная система (рис. 2).

Расчетные схемы испытания для фасадных панелей приняты:

- неразрезная шарнирная балка-плита на 4-х опорах – трехпролетная система (рис. 2).
- разрезная шарнирная плита на 2-х опорах – однопролетная система (рис. 3);

Контроль расстояний между опорами и центровка образцов выполнялась с использованием рулетки со шкалой номинальной длины 7,5 м 2-го класса точности по ГОСТ (ГОСТ 7502-98. Рулетки измерительные металлические. Технические условия). Контроль состояния панелей производится визуально. Нагружение образцов выполняется поэтапно долями с шагом нагрузки 10, 20, 50, 100, 150, 200, 250 кг с использованием гидравлических домкратов типа ДГ50 с максимальным ходом штока 150 мм. Контроль нагружения выполняется с использованием динамометров ДОСМ-3-5 по ГОСТ (ГОСТ 13837-79. Динамометры общего назначения. Технические условия), установленных в середине каждого пролета панели. Контроль прогибов выполняется с использованием прогибомеров по ГОСТ (ГОСТ 164-90. Штангенрейсмасы. Технические условия), установленных в середине каждого пролета панели. Для предотвращения повреждений панелей в местах опирания и приложения нагрузки устанавливались подкладки и прокладки. Контроль напряжений выполняется с помощью тензометрической станции ТК50.

За разрушение модульной системы панелей при статическом изгибе принимался первый излом вертикальных продольных ребер, смятие полки над опорами, при котором панель не восстанавливает свою первоначальную форму после снятия нагрузки.

Закрепление панелей на опорах выполняется через специальные алюминиевые профили КК-10, КК-20 для кровельных и КФ20 и КФ40 для фасадных панелей.

Модульные системы покрытия имели размеры 1,5×1,5 м, 1,5×3,0 м, 1,5×4,5 м, 1,5×5,1 м, 1,5×7,2 м, 1,5×1,0 м, 1,5×1,7 м, 1,5×2,4 м. Соединение образцов по длине обеспечивается:

- для кровельных панелей с помощью специальных Э-профилей;
- для фасадных панелей – паз в паз.

Расчетная схема испытания на максимальный радиус загиба при прогибе (ребрами вверх) и выгибе (ребрами вниз) для кровельных панелей принята разрезная шарнирная плита на 2-х опорах – однопролетная система (рис. 4). Размеры образцов панелей 1,6×1 м; 1,6×0,5.

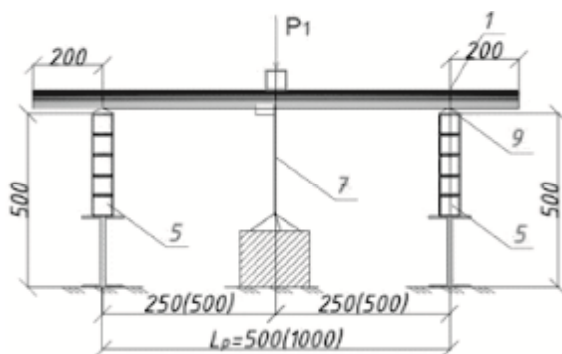


Рис. 4. Схема испытаний панелей на максимальный радиус загиба:

1 – испытуемая панель; 5 – крайняя опора; 7 – прогибомер; 9 – опорная часть округлой формы

Расчетная схема испытания на отрицательную нагрузку для фасадных панелей принята неразрезная шарнирная плита на 3-х опорах – двухпролетная система (рис. 5) с креплением кляммеров под промежуточной опорой в соответствии с условиями эксплуатации.

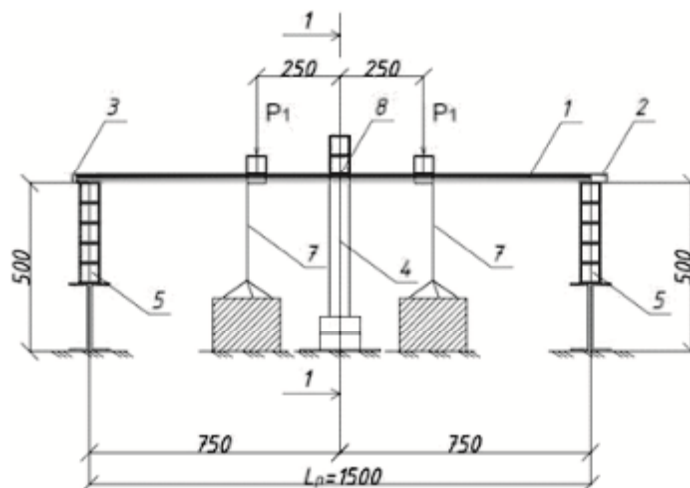


Рис. 5. Схема испытаний панелей на вырыв крепления

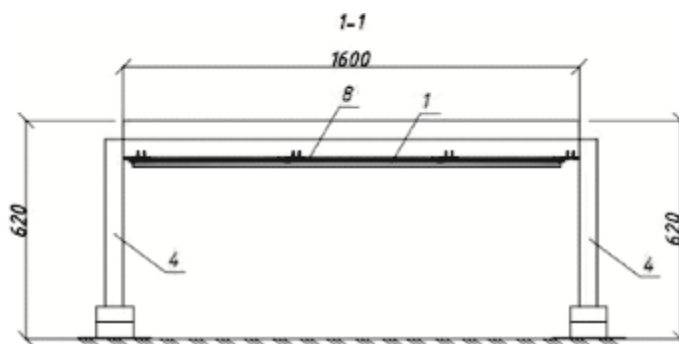


Рис. 6. Сечение средней опоры: 1 – испытуемая панель;

- 2 – профиль фасадный холодный верхний 20 мм, профиль фасадный холодный верхний 40 мм;  
 3 – профиль фасадный холодный нижний 20 мм, профиль фасадный холодный нижний 40 мм;  
 4 – средняя опора; 5 – крайняя опора; 7 – прогибомер; 8 – кляммер КФ20, кляммер КФ40

Испытания на вырыв (отрыв) крепления от промежуточных опор в стыковом соединении модульных систем (фасадных панелей), проводилось по методике с обратной нагрузкой, разработанной специально для модульных систем CARBOGLASS pro, с учетом требований ГОСТ (ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости).

Схема опирания и нагружения была принята в соответствии с условиям работы изделия в конструкциях зданий на стадии эксплуатации.

За предельное состояние принято максимальная воспринимаемая нагрузка в соединении до получения отказа:

- разрушение по кляммеру – сгиб, разрыв, вырыв из соединения;
- разрушение по панели – срез стыковых ребер граней;
- разрушение по анкеру – вырыв из основания.

Размеры образцов панелей 1,5×1,5 м. Крепление панелей в среднем пролете к опоре с помощью 4-х инвентарных кляммеров.

### Результаты испытаний

В табл. 1 приведены результаты определения несущей способности панелей.

Рекомендуемые (максимальные) величины шагов опор для многопролетных панелей типа Ф20, Ф40, К10, К20 при несущей способности панели ( $M_{изгf=1/10}$ ) для различных нагрузок приведены в табл. 2.

Рекомендуемые (максимальные) величины шагов опор для многопролетных панелей типа Ф20, Ф40, К10, К20 при несущей способности панели ( $M_{изгf=1/25}$ ) для различных нагрузок приведены в табл. 3.

Рекомендуемые (максимальные) величины шагов опор для однопролетных панелей типа Ф20, Ф40 при несущей способности панели ( $M_{изгf=1/10}$ ) для различных нагрузок приведены в табл. 4.

Рекомендуемые (максимальные) величины шагов опор для однопролетных панелей типа Ф20, Ф40 при несущей способности панели ( $M_{изгf=1/25}$ ) для различных нагрузок приведены в табл. 5.

В табл. 6 приведены результаты определения максимально допустимых радиусов загибов.

В табл. 7 приведены результаты определения несущей способности узлов соединения.

Таблица 1

**Несущая способность панелей, (кг·м)**

Прогиб	Тип панели			
	Ф20	Ф40	К10	К20
$f=1/10L$	72,1	263,025	120,05	267,75
$f=1/25L$	30,45	107,45	44,1875	114,975

Примечание: для поликарбонатных модульных систем типа Ф20, Ф40 несущая способность определялась при  $L_p=1$  м, а для поликарбонатных модульных систем типа К10, К20 несущая способность определялась при  $L_p=0,5$  м.

Таблица 2

**Рекомендуемый (максимальный) шаг опор для многопролетных панелей при несущей способности панели ( $M_{изгf=1/10}$ ) при нагрузке на  $1 \text{ м}^2$ , (м)**

$q, \text{кг}/\text{м}^2$	Тип панели			
	Ф20	Ф40	К10	К20
50	3,5	6,72	4,5	6,7
850	0,85	1,63	1,1	1,64

Таблица 3

**Рекомендуемый (максимальный) шаг опор для многопролетных панелей при несущей способности панели ( $M_{изгf=1/25}$ ) при нагрузке на  $1 \text{ м}^2$ , (м)**

$q, \text{кг}/\text{м}^2$	Тип панели			
	Ф20	Ф40	К10	К20
50	2,28	4,29	2,75	4,44
850	0,55	1,04	0,67	1,08

Таблица 4

**Рекомендуемый (максимальный) шаг опор для однопролетных панелей при несущей способности панели ( $M_{изгf=1/10}$ ) при нагрузке на  $1 \text{ м}^2$ , (м)**

$q, \text{кг}/\text{м}^2$	Тип панели	
	Ф20	Ф40
50	3,19	5,64
850	0,77	1,37

Таблица 5

**Рекомендуемый (максимальный) шаг опор для однопролетных панелей при несущей способности панели ( $M_{изгf=1/25}$ ) при нагрузке на  $1 \text{ м}^2$ , (м)**

$q, \text{кг}/\text{м}^2$	Тип панели	
	Ф20	Ф40
50	2,19	4,25
850	0,53	1,03

Таблица 6

**Максимально допустимые радиусы загибов панелей, (мм)**

Тип панели	При прогибе (ребрами вверх)	При выгибе (ребрами вниз)
K10	660,92	312,28
K20	637,12	649,41

Примечание: для поликарбонатных модульных систем типа K10 максимально допустимый радиус загиба при выгибе определялся при  $L_p=0,5$  м

Таблица 7

**Несущая способность узлов соединений, (кг·м)**

Тип кляммера	Несущая способность одного кляммера
КФ20	126,8
КФ40	309,37

**Анализ результатов испытаний**

По результатам проведенных испытаний установлены следующие закономерности при разрушении панелей:

- характер разрушения для трехпролетных панелей типа Ф20 – излом вертикальных продольных ребер и смятие нижнего пояса над промежуточными опорами.
  - характер разрушения для трехпролетных панелей типа Ф40 – смятие верхнего пояса, излом вертикальных продольных ребер под распределенной нагрузкой.
  - характер разрушения для трехпролетных панелей типа K10, K20 – смятие нижнего пояса с изломом вертикальных продольных ребер над промежуточными опорами.
  - характер разрушения для однопролетных панелей типа Ф20, Ф40 – смятие верхнего пояса, излом вертикальных продольных ребер под распределенной нагрузкой.
- Так же после испытания трехпролетных панелей типа Ф20, Ф40 были обнаружены повреждения, в виде локального смятия нижнего пояса в узлах крепления (связь кляммер-панель) над промежуточными опорами, требующего последующего изучения для увеличения несущей способности и долговечности соединения.

Во время испытаний края (торцы) испытуемых панелей при трехпролетной и однопролетной схемах в некоторых случаях выскальзывали из торцевых креплений, в связи с этим максимальные величины несущей способности достигнуты не были.

Величины максимальных шагов опор определены исходя из достижения панелями максимальных прогибов, соответствующих 1/10 пролета. При этом следует учитывать, что ввиду малой жесткости панелей данный прогиб достигался при нагрузках, меньших, чем максимальная несущая способность панелей, что является неиспользованным резервом для панелей.

По результатам испытаний фасадных панелей на отрицательную нагрузку установлено, что характерным признаком разрушения для всех типов панелей было образование волн сжатого пояса, деформация кляммеров с последующим разрушением панели в узле соединения с кляммером. Результаты испытаний показали высокую несущую способность узлов соединений панелей, достаточную для восприятия горизонтальных ветровых нагрузок, возникающих в узлах модульных систем при устройстве из них ограждений зданий, автодорог, перронов и других сооружений, расположенных вблизи с транспортом.

**Выводы**

Практическая ценность результатов работы, полученных в статических испытаниях, заключаются в следующем:

1. Определены значения несущей способности панелей при достижении прогибов 1/10, 1/25 длины пролета.
2. Определены рекомендуемые шаги опор для устройства кровельных и фасадных поликарбонатных панелей.
3. Определен диапазон максимально допустимых радиусов загибов кровельных панелей.
4. Определена несущая способность узлов соединений фасадных панелей.

### Список библиографических ссылок

1. Антифеева Н.В., Столянков Ю.В., Исходжанова И.В. Исследование и оценка свойств полимерных композиционных материалов по методикам, гармонизированным с международными стандартами // Конструкции из композиционных материалов, 2013, № 3. – С. 41-45.
2. Аннин Б.Д., Жигалкин В.М. Поведение материалов в условиях сложного нагружения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 342 с.
3. Булманис В.Н., Ярцев В.А., Кривонос В.В. Работоспособность конструкций из полимерных композитов при воздействии статических нагрузок и климатических факторов // Механика композитных материалов, 1987, № 5. – С. 915-920.
4. Зуйко В.Ю., Лобанов Д.С., Аношкин А.Н. Методики определения предела прочности полунатурных образцов-панелей из композиционных материалов при статических испытаниях на растяжение, сжатие и сдвиг // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика, 2012, № 2. – С. 99-111.
5. Прочность и разрушение композитных материалов // Труды второго советско-американского симпозиума. / Под ред.: Дж. К. Си, В.П. Тамуж. – Рига: Зинатне, 1983. – 320 с.
6. Современные методы испытаний композиционных материалов. науч.-метод. сборник / под ред. А.П. Гусенкова, сост. А.Н. Полилов. – М.: изд-во ИМАШ им. А.А. Благодрава, 1992. – 247 с.
7. Полилов А.Н. Экспериментальная механика композитов. – М.: Изд-во Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2015. – 371 с.
8. Лобанов Д.С. Экспериментальные исследования деформационных и прочностных свойств полимерных композиционных материалов и панелей с наполнителем. – Пермь: издательство Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2015. – 148 с.

**Karasev I.V.** – student

E-mail: [ilya.karasev.1993@mail.ru](mailto:ilya.karasev.1993@mail.ru)

**Maystrenko I.Yu.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [igor\\_maystr@mail.ru](mailto:igor_maystr@mail.ru)

**Kuklin A.N.** – head of the laboratory

E-mail: [labmost@kgasu.ru](mailto:labmost@kgasu.ru)

**Khozin V.G.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [khozin@kgasu.ru](mailto:khozin@kgasu.ru)

**Gizdatullin A.R.** – post-graduate student

E-mail: [antonchiks@mail.ru](mailto:antonchiks@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### Experimental study of polycarbonate modular systems' work

#### Resume

This article describes a set of static tests to obtain data samples of roofing and facade polycarbonate panels on their bearing capacity and deformability to use these data for the design and construction. The purpose of this paper is to assess the carrying capacity of the panels flexural, bond strength of the panels with clamps and determining the nature of the destruction of the panels. To achieve this goal was to achieve the following objectives: to evaluate the compliance of the submitted samples to the stated requirements of TU «KARBOGLASS»; develop a method of testing; to test panels of different modular systems; to analyze the test results, including the carrying capacity of the panels, the maximum permissible steps supports for the panels, the maximum permissible bending radii roofing panels, the carrying capacity of

fasteners facade panels with a negative load (on the inside) and the nature of the destruction of the panels. The values of the bearing capacity of the panels when the deflection 1/10, 1/25 of the span. Determine the recommended steps for the device supports roof and facade of polycarbonate panels. The range of the maximum permissible bending radius of the roof panels. Determined the carrying capacity of nodes connections facade panels.

**Keywords:** polycarbonate panel, coating, carrying capacity, deformability.

#### Reference list

1. Antyufeeva N.V., Stoilyanka I.V., Iskhodzhanova J.V. Research and evaluation of the properties of polymer composites according to the procedures harmonized with international standards // *Konstruktivnyye i kompozitsionnyye materialy*, 2013, № 3. – P. 41-45.
2. Annin B.D., Zhigalkin V.M. The behavior of materials under complex loading. – Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS, 1999. – 342 p.
3. Bulmanis V.N., Yartsev V.A., Kryvonos V.V. The efficiency of polymeric composites when subjected to static loads and climatic factors // *Mekhanika kompozitnykh materialov*, 1987, № 5. – P. 915-920.
4. Zyiko V.Y., Lobanov D.S., Anoshkin A.N. Techniques for determining the tensile strength of semi-natural sample panels made of composite materials under static tensile tests, compression and shear // *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika*, 2012, № 2. – P. 99-111.
5. Strength and fracture of composite materials // *Trudy vtorogo sovetsko-amerikanskogo simpoziuma*. / Ed.: J. K. C., V.P. Tamuzs. – Riga: Zinatne, 1983. – 320 p.
6. Modern methods of composite material testing. Sci.-method. collection / ed. A.P. Gusenkov, comp. A.N. Polilov. – M.: Publishing IMASH im. A.A. Blagonravova, 1992. – 247 p.
7. Polilov A.N. Experimental mechanics of composites. – M.: Publishing Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet im. N.E. Bauman, 2015. – 371 p.
8. Lobanov D.S. Experimental study of deformation and strength properties of polymer composite materials and filler panels. – Perm: Publishing Permskiy natsional'nyy issledovatel'skiy politekhnicheskiiy universitet, 2015. – 148 p.