

# ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ СТЕКЛО- И БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВ

<sup>1</sup>Ю.Ю. ФЕДОРОВ, канд. техн. наук, с.н.с.,

<sup>1</sup>Ф.И. БАБЕНКО канд. техн. наук, в.н.с.,

<sup>2</sup>А.А. ГЕРАСИМОВ, канд. техн. наук, доцент,

<sup>1</sup>Г.П. ЛАПИЙ, м.н.с.

(<sup>1</sup>ИПНГ СО РАН, <sup>2</sup>СВФУ, г. Якутск)

Статья поступила 17 ноября 2011 года

Федоров Ю.Ю. – 677980, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1 ИПНГ СО РАН, yuristan@yandex.ru

Экспериментально исследовано влияние низких температур и трехлетней экспозиции в холодном климате (условия неотапливаемого склада) на механические свойства однонаправленных стекло- и базальтопластиковых стержней строительного назначения. Показатели свойств определялись методом продольного изгиба стержней в условиях шарнирного закрепления образцов при температуре 20 и минус 60 °С. Результаты исследования показали существенное, до 20 %, увеличение деформационно-прочностных показателей свойств при низких температурах и высокую климатическую стойкость изделий.

**Ключевые слова:** стеклопластик, базальтопластик, деформация, прочность, модуль упругости, климатическая стойкость.

## Введение

В последние годы в России и за рубежом резко увеличился объем применения новых прогрессивных конструкций, изготовленных с использованием композитных полимерных материалов. Эти материалы успешно употребляются рядом фирм в производстве гибких связей стеновых панелей, строительных дюбелей, опор при сооружении линий электропередачи, автодорожных пролетных строений и т.п. Вопросы эффективного применения композитных материалов (КМ) в строительстве освещены в работе [1].

Один из факторов, ограничивающих широкое применение элементов строительных конструкций из КМ, – отсутствие исчерпывающих и достоверных данных об их механическом поведении, атмосферостойкости и долговечности, ибо срок службы конструкции инфраструктуры должен превышать 50 лет [2]. Для условий с морским климатом, характерным для южной Европы, подобные предварительные исследования для изделий из стеклопластика показали

их высокую атмосферостойкость – УФ облучение затрагивает главным образом поверхность материала и его эстетические свойства [2,3]. В то же время в условиях Якутии (резкоконтинентальный климат) ряд полимерных материалов и композиций на их основе стареет гораздо интенсивнее, чем в зоне умеренного климата [4]. Свой вклад в этот процесс вносят низкие температуры в зимнее время года (до –64 °С). Суточные колебания температуры с широкой амплитудой и переходом через 0 °С в весенне-осенний период приводят к появлению термических напряжений, накоплению микротрещин, хрупкому разрушению материала, сорбции и десорбции влаги с последующим ее замораживанием и оттаиванием.

В настоящей работе представлены результаты исследований, позволяющие произвести предварительную оценку эксплуатационной пригодности изделий из стекло- и базальтопластиков в условиях холодного климата в отсутствие непосредственного воздействия прямых солнечных лучей.

## 1. Материалы

Были исследованы механические свойства промышленных образцов стеклопластиковых стержней двух типов (на основе полиэфирного и эпоксидного связующего) и базальтопластиковых стержней на основе эпоксидного связующего диаметром 5,0 и 5,5 мм производства ООО «Бийский завод стеклопластиков». Образцы – однонаправленно армированные стержни длиной 200 мм. Армирующие волокна стеклопластика – ровинги из алюмоборосиликатного стекла (стекло Е) с диаметром элементарной нити 17 мкм, а базальтопластика – ровинги с диаметром нити 13 мкм, связующее – на основе отверждаемых эпоксидных и полиэфирных смол. Стержни изготавливают методом непрерывной протяжки через формующую фильеру однонаправленных волокнистых материалов, предварительно пропитанных полимерным связующим, с последующим отверждением в полимеризаторе [5].

## 2. Методы

Сложность испытаний армированных композиционных материалов на растяжение и изгиб состоит в том, что контактные нагрузки от механизмов нагружения влияют на напряженное состояние в зоне разрушения образца. Поэтому был выбран метод продольного изгиба [5–7], ко-

торый имеет преимущества по сравнению с трех- и четырехточечными схемами изгиба образца, поскольку расчетная зона разрушения находится далеко от точек приложения нагрузки [6]. Еще одним преимуществом этого метода является то, что для продольного изгиба требуется нагрузка, примерно в 50 раз меньшая, чем для растяжения/сжатия образца такого же диаметра [7].

Для проведения исследований было разработано устройство для испытаний на продольный изгиб стержней при шарнирном закреплении образцов (рис. 1, а). Испытания проводили на универсальной испытательной машине UTS-20К с термокриокамерой при температуре 20 и минус 60 °С со скоростью движения активного захвата 5 мм/мин.

Образцы нагружали до разрушения с одновременной записью в компьютер значений текущей нагрузки, времени и сближения концов стержня. Типичная диаграмма нагружения стержня приведена на рис. 1, б. Обработка массива данных проводилась по выражениям (1), (2) и (3), которые были получены в работе [7]:

$$\sigma \approx \frac{32}{\pi d^3} PL \times \sqrt{\frac{1(\delta + 0,2519\delta^2 + 0,0773\delta^3 + 0,0788\delta^4)}{2(0,125 - 0,0152\delta - 0,0083\delta^2)}}; \quad (1)$$

$$\times \frac{1}{\pi(1 + 0,5038\delta + 0,2318\delta^2 + 0,3151\delta^3)}$$

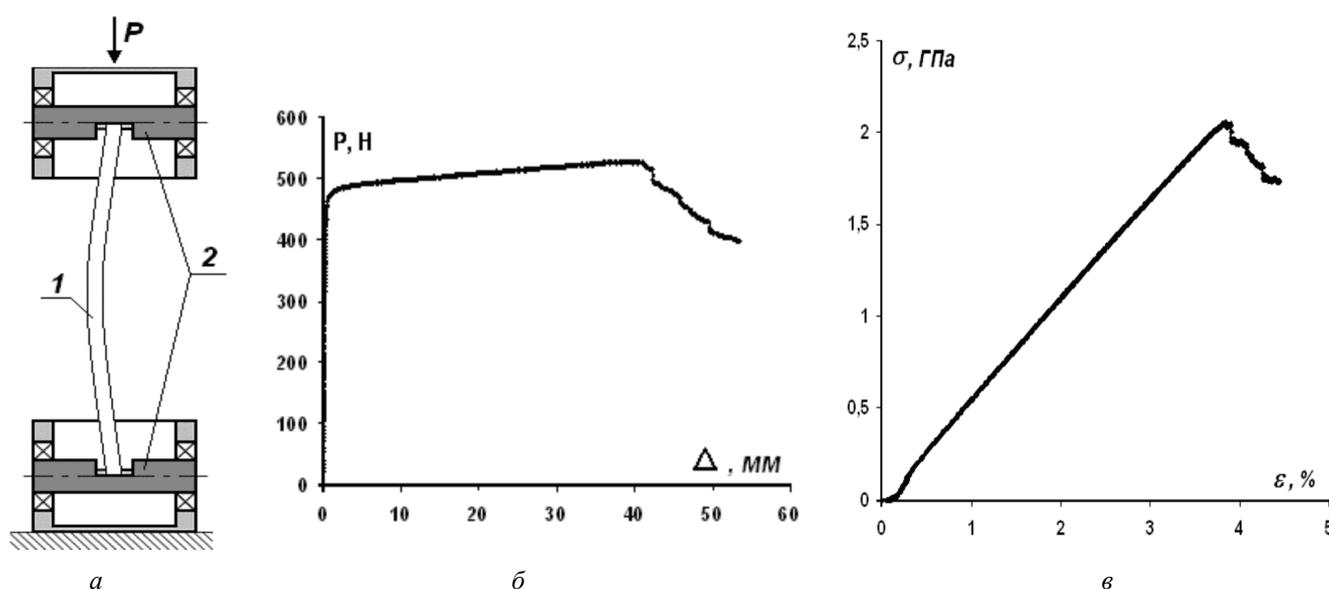


Рис. 1. Схема установки (а): 1 – образец; 2 – шарнирные опоры; типичная диаграмма нагружения (б) и типичная диаграмма деформирования (в) стеклопластикового стержня при нагружении методом продольного изгиба

$$\varepsilon \approx \frac{1}{2L} d\pi \times \sqrt{\frac{1(\delta + 0,2519\delta^2 + 0,0773\delta^3 + 0,0788\delta^4)}{(0,125 - 0,152\delta - 0,0083\delta^2)}}; \quad (2)$$

$$E \approx \frac{64L^2}{\pi^3 d^4} \frac{P}{(1 + 0,5038\delta + 0,2318\delta^2 + 0,3151\delta^3)}; \quad (3)$$

где  $\sigma$  – напряжение, МПа;  $\varepsilon$  – относительная деформация;  $E$  – модуль упругости стержня, МПа;  $L, d$  – длина и диаметр стержня, мм;  $P$  – продольная нагрузка, приложенная к концам стержня, Н;  $\delta$  – относительное сближение концов стержня, равное  $\Delta/L$ ;  $\Delta$  – сближение концов стержня при продольном изгибе, мм.

Далее строились диаграммы «напряжение – деформация» (рис. 1, в), откуда определялись прочностные характеристики (разрушающее напряжение, предельная деформация) и модуль упругости материала стержней как в исходном состоянии (несостаренных), так и образцов, прошедших экспонирование (состаренных).

### 3. Результаты

#### 3.1. Влияние низких климатических температур

Основной особенностью влияния низких температур является существенное увеличение (до 20 %) деформационно-прочностных показателей образцов (рис. 2), причем это относится как к прочностным, так и деформационным характеристикам изделий.

Выявленная температурная зависимость изменения деформационно-прочностных показателей весьма существенна для условий холодного климата и, по-видимому, обусловлена специфической температурной зависимостью механических свойств армирующих волокон [8]. Кроме того, в [9] приводятся ссылки на работы, в которых экспериментально установлено увеличение деформации до разрушения как у пластичных, так и у хрупких материалов при наличии в них сложного напряженного состояния, в частности, при их сжатии в направлении, поперечном основной разрушающей нагрузке. Подобные эффекты наблюдаются и в композиционных материалах, например, разрушение борных волокон в гибридных композитах (волокна бора и стали в алюминиевой матрице) в ряде случаев наступает при больших деформациях, чем в бороалюминии [9]. Этот эффект пока не имеет удовлетворительного объяснения. На основании предварительных расчетов его связывают с возрастанием напряжений обжатия борных волокон, возникающих вследствие увеличения эффективной жесткости алюминиевой матрицы в присутствии стальных волокон. В нашем случае действия радиальных напряжений обжатия волокна со стороны матрицы вызваны разницей коэффициентов Пуассона компонентов, остаточными технологическими напряжениями усадки и термическими напряжениями, возникающими в условиях испытания образцов при конкретной температуре опыта ( $-60^\circ\text{C}$ ) с учетом существенного (практически на порядок) различия в коэффициентах термического расширения волокон и матрицы.

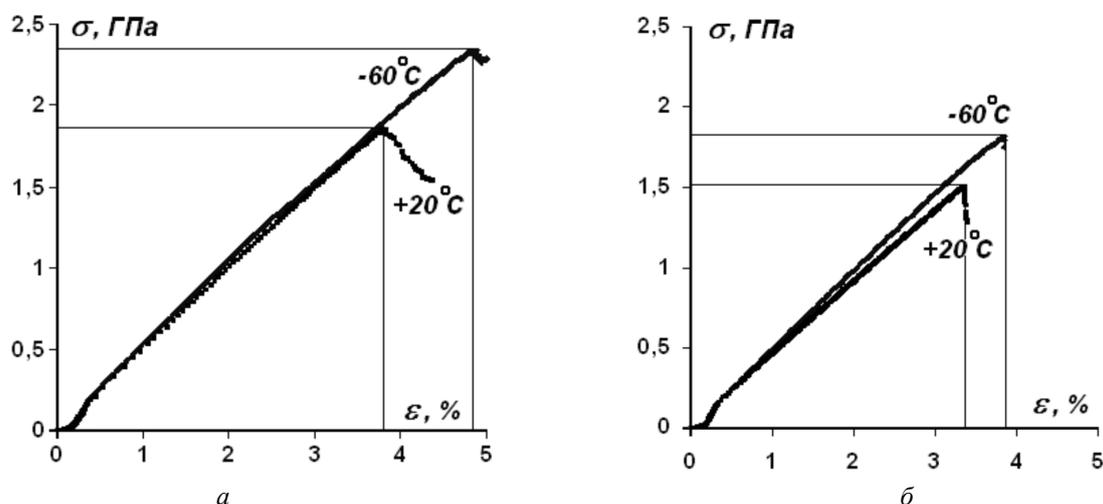


Рис. 2. Характерные диаграммы деформирования стержней из стеклопластика (а) и базальтопластика (б) на эпоксидном связующем при температурах испытаний  $20^\circ\text{C}$  и  $-60^\circ\text{C}$

### 3.2. Влияние старения

Экспонирование стеклопластиковых и базальтопластиковых стержней согласно ГОСТ 9.708-83 «Пластмассы. Методы испытаний на старение при воздействии естественных и искусственных климатических факторов» проводилось в ненапряженном состоянии в неотапливаемом складе в климатических условиях г. Якутска в течение

трех лет. Съемы и испытания образцов проводились с периодичностью в 1 год. Результаты испытаний на продольный изгиб при температурах +20 и минус 60 °С образцов АПС представлены на (рис. 3–5). Каждая точка графика – среднее значение по результатам 5–7 испытаний. Границы доверительного интервала рассчитаны при вероятности 0,95.

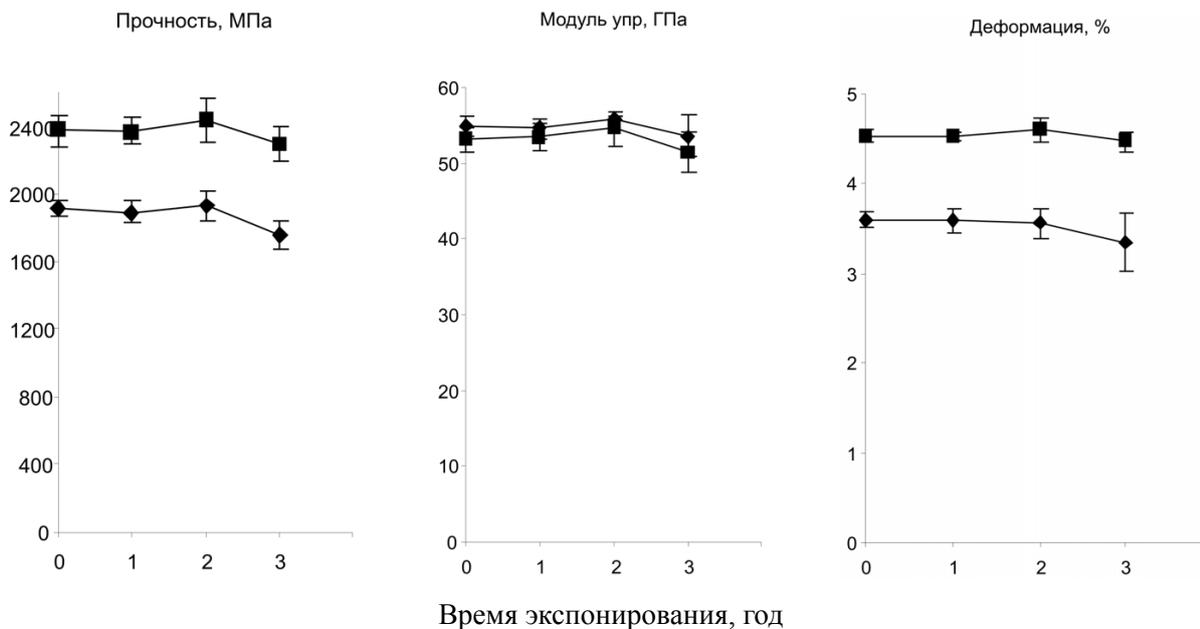


Рис. 3. Зависимости разрушающих напряжений  $\sigma$ , модуля упругости  $E$  и предельных деформаций  $\epsilon$  стеклопластиковых стержней на основе полиэфирного связующего от времени экспонирования и температуры испытания ( $\blacklozenge$  +20 и  $\blacksquare$  -60°C)

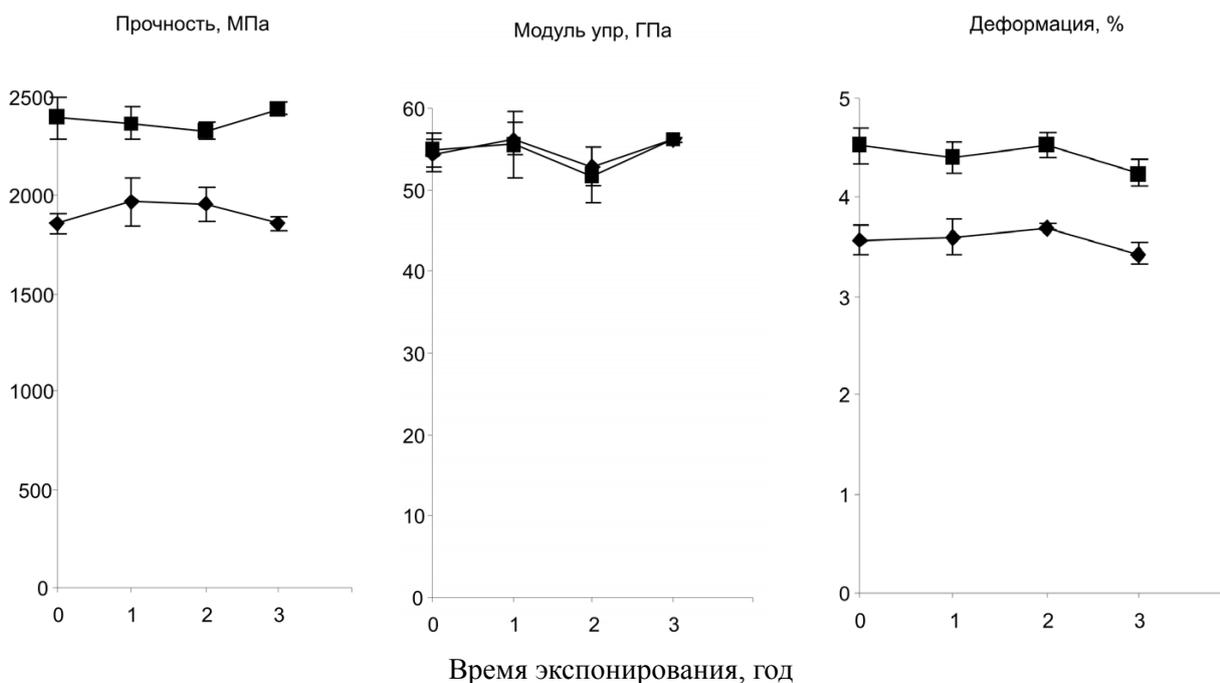


Рис. 4. Зависимости разрушающих напряжений  $\sigma$ , модуля упругости  $E$  и предельных деформаций  $\epsilon$  стеклопластиковых стержней на основе эпоксидного связующего от времени экспонирования и температуры испытания ( $\blacklozenge$  +20 и  $\blacksquare$  -60°C)

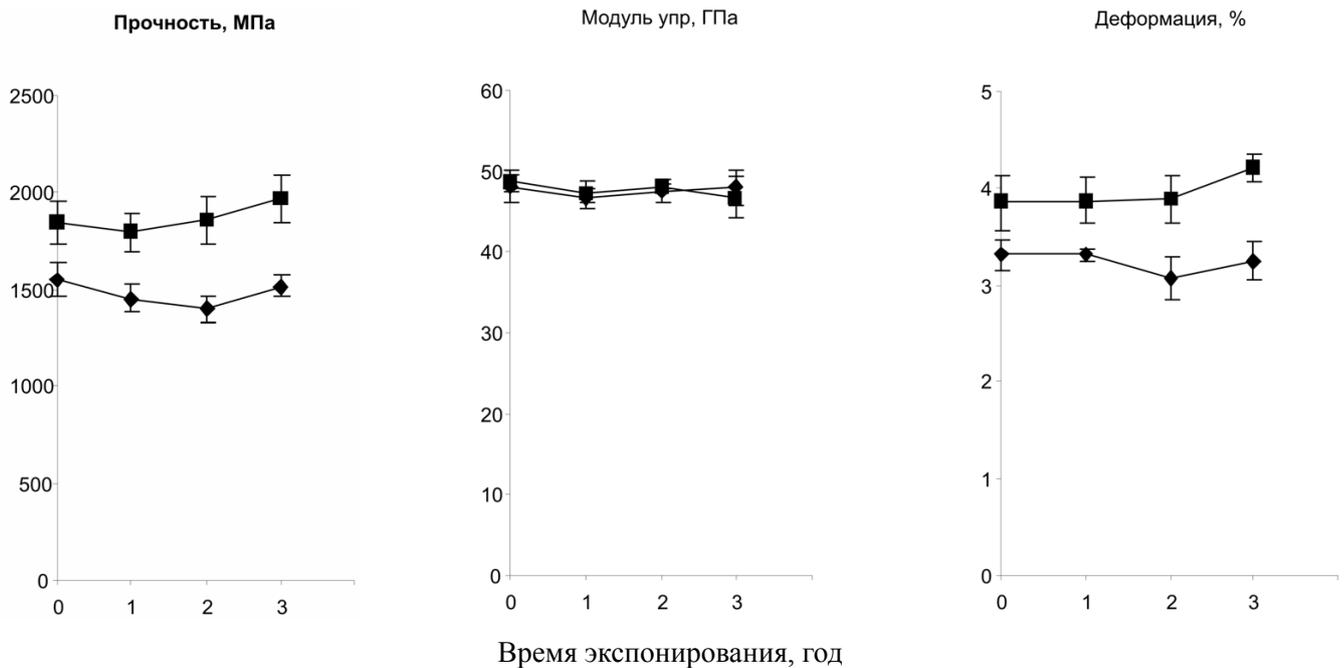


Рис. 5. Зависимости разрушающих напряжений  $\sigma$ , модуля упругости  $E$  и предельных деформаций  $\epsilon$  базальтопластиковых стержней на основе эпоксидного связующего от времени экспонирования и температуры испытания (◆ +20 и ■ -60°C)

Существенность изменения показателей прочности, деформативности и жесткости определяли после каждого съема путем проверки значимости расхождений между средними значениями текущего (конкретное время съема образцов, равное 1, 2, 3 года) и исходного показателей свойств [10]. Проведенная статистическая обработка результатов (при уровне значимости 0,05) показала, что после третьего года экспозиции расхождения между средними значениями неслучайны и обусловлены старением материала, а изменения показателя – статистически значимы.

### Выводы

1. Установлено существенное увеличение (до 20 %) деформационно-прочностных показателей стекло- и базальтопластиковых стержней при низких климатических температурах.
2. Результаты 3-летних испытаний стекло- и базальтопластиковых стержней на старение в ненапряженном состоянии в неотапливаемом складе в климатических условиях г. Якутска показали высокую климатическую стойкость изделий к воздействию факторов холодного

климата (снижение показателей свойств не превышает 4 %).

### Список литературы

1. Бернацкий А.Ф., Казарновский В.С., Устинов В.П. и др. Применение композитных полимерных материалов в строительных конструкциях и мостах в Сибири / Транспорт Российской Федерации. – 2006. – № 5. – С. 45–48.
2. Коррейя Х.Р., Кабрал-Фонсека С., Бранко Ф.А. и др. Долговечность пултрузионных профилей из полиэфирного стеклопластика для строительных конструкций //Механика композитных материалов. – 2006. – Т. 42, № 4. – С. 463–482.
3. Рибейру М., Феррейра А., Маркуш А. Влияние естественного и искусственного климатического воздействия на длительные изгибные характеристики полимеррастворов //Механика композитных материалов. – 2009. – Т. 45, № 5. – С. 739–758.
4. Филатов И.С. Климатическая устойчивость полимерных материалов. – М.: Наука, 1983. – 213 с.
5. Испытания упругих стержней методом продольного изгиба / под ред. В.Ф. Савина, А.Н. Блазнава. – Барнаул: Изд-во Алтайского госуниверситета, 2009. – 222 с.



6. Арнаутон А.К., Тарнопольский Ю.М. Продольный изгиб как метод определения изгибной прочности композитных материалов //Механика композитных материалов. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 25–42.

7. Луговой А.Н. Исследование механических характеристик однонаправленно армированного стеклопластика методом продольного изгиба: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.02.01. – Барнаул, 2005. – 24 с.

8. Трофимов Н.Н., Канович М.З., Карташов Э.М. и др. Физика композиционных материалов. – М.: Мир. – В 2 т. – 2005. – Т. 2. – 344 с.

9. Овчинский А.С. Процессы разрушения композиционных материалов: имитация микро- и макро- механизмов на ЭВМ.– М.: Наука, 1988. – 278 с.

10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.

### **Influence of factors of a cold climate on mechanical properties of composite rods from glass- and bazaltfibers**

Yu.Yu. Fedorov, F.I. Babenko, A.A. Gerasimov, G.P. Lapiy

Experimentally influence of low temperatures and a three-year exposition in a cold climate (a condition of not heated warehouse) on mechanical properties unidirectional glass-bazaltfibers rods of building assignment is examined. Indexes of properties were defined by a method of direct curving of rods in conditions the joint fixings of exemplars at temperature 20 and –60 °С. Results of research have displayed essential, up to 20 %, increase deformation and mechanical indexes of properties at low temperatures and high climatic stability of articles.

**Key words:** fiberglass, fiberbazalt, a strain, durability, a module of elasticity, climatic stability.