

**СЕЛЯЕВ В. П., АЛИМОВ М. Ф., ШАБАЕВ И. Н.**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**  
**И СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ**  
**МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА**

**Аннотация.** В данной статье приведены экспериментальные значения механических характеристики и свойств стеклопластиковых арматурных стержней. Изучена работа стержней при действии агрессивных сред и различных температурных режимов. Установлено, что оптимальной длиной для определения механических характеристик стеклопластиковой арматуры методом продольного изгиба являются образцы длиной 210 мм. При повышении температуры арматурный стержень становится более пластичным, модуль упругости и прочность арматуры заметно уменьшаются.

**Ключевые слова:** стеклопластиковая арматура, метод продольного изгиба, химическое сопротивление.

**SELYAEV V. P., ALIMOV M. F., SHABAYEV I. N.**  
**BUCKLING METHOD FOR DETERMINING MECHANICAL**  
**CHARACTERISTICS AND PROPERTIES OF COMPOSITE REBAR**

**Abstract.** This article presents the experimental values of the mechanical characteristics and properties of fiberglass rebars. The authors studied the work of rebars under the action of aggressive media and different temperature regimes. It was found that the optimum length for determining the mechanical properties of fiberglass rebar by using the buckling method are samples of 210 mm. When the temperature increases, rebar becomes more ductile, elastic modulus and strength of reinforcement significantly reduce.

**Keywords:** fiberglass rebar, buckling method, chemical resistance.

**Испытания по определению механических характеристик образцов**

На рынке строительных материалов большой популярностью стали пользоваться композитные арматурные стержни. Однако сведения о применении композитной арматуры в бетонных конструкциях, приведенные в технической литературе, недостаточны, либо вызывают сомнения проектировщиков. Поэтому была поставлена задача – экспериментально изучить свойства композитной арматуры при действии агрессивных сред и различных температурных режимов.

Согласно проведенным исследованиям и работам других авторов, традиционные методы по испытанию арматурных стержней не дают полную и объективную информацию о ее механических характеристиках. Наиболее подходящим, на наш взгляд, является метод

продольного изгиба [1]. Сущность данного метода заключается в следующем: шарнирно опертый образец продольно изгибают до полного его разрушения (рис.1–2). По показаниям измерительных приборов определяют механические характеристики образца по формулам (1) – (6).

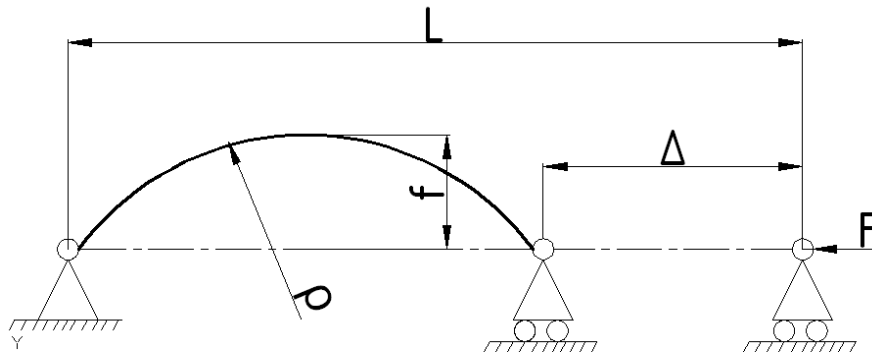


Рис. 1. Схема испытания образцов методом продольного изгиба.



Рис. 2. Характер разрушения арматуры.

Согласно используемому методу, максимальные (краевые) напряжения в сжато-изогнутом стержне определяются по формуле вида:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{A} \pm \frac{Nf}{W}. \quad (1)$$

Все остальные значения были определены по формулам:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2)$$

$$W = \pi d^3 / 32, \quad (3)$$

$$\rho = \frac{\frac{c^2}{4} + f^2}{2f}, \quad (4)$$

$$f = \sqrt{3 \frac{L^2 - c^2}{16}} = \sqrt{3 \frac{2L\Delta - \Delta^2}{16}}, \quad (5)$$

$$E_1 = \frac{4N(\frac{c^2}{4} + f^2)}{\pi d^3 f} [1 \pm 8 \frac{f}{d}]. \quad (6)$$

Для испытаний были использованы образцы стеклопластиковой арматуры диаметром (d) 6,5 мм и длиной (L) 90, 120, 150, 180, 210, 240 мм.

Диаграмма зависимости изменения усилий F от осевого перемещения Δ испытываемых образцов представлена на рисунке 3. Из графика видно, что для образца характерно три участка нагружения: участок достижения максимальной нагрузки и потери устойчивости, затем площадка стабильного восприятия нагрузки и участок разрушения. Участок начала нагружения характеризуется сравнительно быстрым нарастанием силы сопротивления образца действующей на него внешней силовой нагрузки; при этом образец еще находится в устойчивом состоянии. Рабочий участок графика соответствует состоянию потери устойчивости образца. В пределах этого участка происходит малое изменение силы при значительном взаимном перемещении концов стержня, что соответствует продольному изгибу тонких упругих стержней. Рабочий участок используется в режиме измерения для определения стрелы прогиба и радиуса кривизны напряжено деформированного состояния образца. Участок разрушения образца характеризуется резким или плавным снижением силы сопротивления.

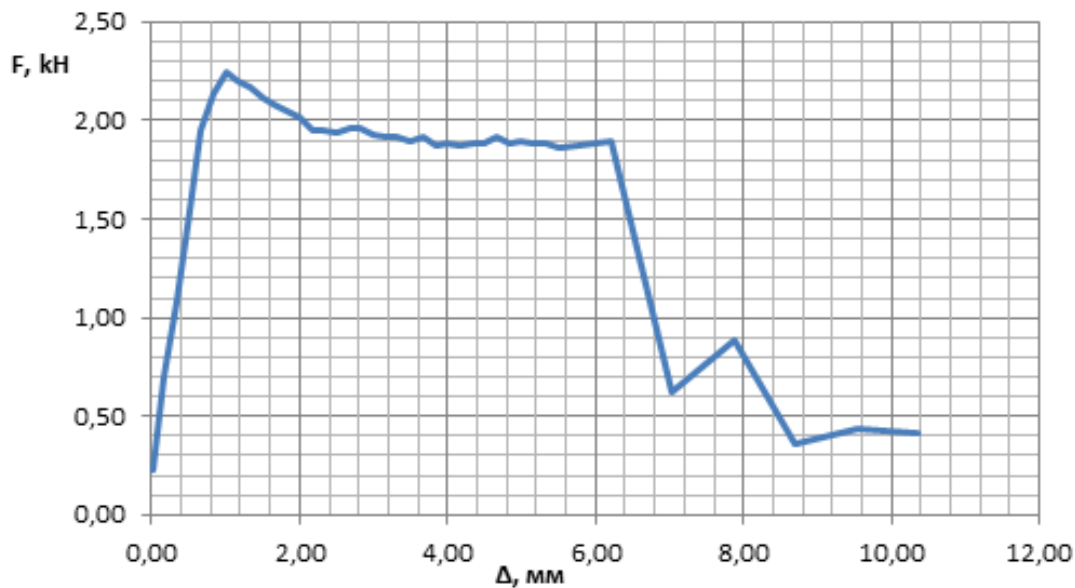


Рис. 3. Диаграмма зависимости изменения усилий F от осевого перемещения Δ.

Результаты испытаний стеклопластиковой арматуры представлены в таблице 1. Наиболее оптимальной длиной для определения механических характеристик стеклопластиковой арматуры методом продольного изгиба являются образцы длиной 210 мм с наименьшей дисперсией выборки.

Результаты испытаний образцов методом продольного изгиба арматуры диаметром 6,5 мм

№	L, мм	$\Delta$ , мм	F, кН	f, мм	$\rho$ , мм	$\sigma$ , МПа	E, МПа
1	90	1,68	5,72	7,796	104,971	1828,5	63982
2	120	3,34	3,42	12,586	112,791	1701,4	63968
3	150	4,5	2,02	16,37	130,77	1291,8	58724
4	180	10,5	1,3	27,134	116,891	1353,37	52732
5	210	17,06	1,05	37,412	118,036	1493,66	58768

### Испытания по определению химического сопротивления

Химическое сопротивление – это способность материалов и конструкций в определенных пределах времени воспринимать воздействия агрессивных сред, обеспечивать нормативные эксплуатационные качества [2]. В данном эксперименте химическое сопротивление было определено по изменению массы в процессе действия агрессивной среды. Этот метод получил отражение во многих опубликованных материалах [3; 4].

Стеклопластиковые композитные стержни были выдержаны в щелочной среде раствора NaOH с водородным показателем  $\text{pH} = 12$ . Арматура выдерживалась при температурах 60 и 100 °C в течение 8 часов. Результаты испытаний представлены на рисунках 4 и 5.

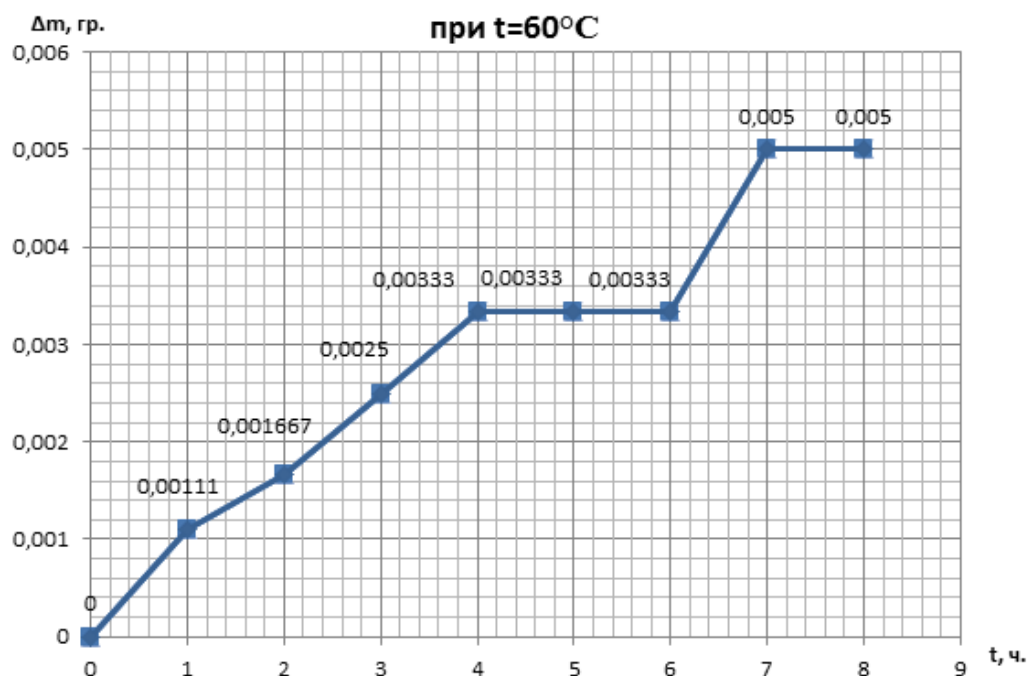


Рис. 4. Кинетика сорбции композитной арматуры в растворе NaOH с  $\text{pH} = 12$  при  $t = 60$  °C.

Из результатов следует, что с увеличением температуры скорость диффузии заметно увеличивается и образец набирает массу более стремительно. Максимальное изменение массы

после 8 часов выдержки для образцов при  $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет 0,005 гр., при  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 0,01 гр.

### Работа арматурных стержней при повышенных температурах

Большинство железобетонных изделий изготавливается в заводских условиях с применением тепловой обработки при температуре до 60-80  $^{\circ}\text{C}$ . Поэтому нами ставилась задача экспериментальным путем выявить, как температура, близкая к тепловой обработке железобетонных изделий, влияет на прочностные характеристики стеклопластиковой арматуры. Испытание проводилось на прессе 13 DP/401 с климатической камерой методом продольного изгиба. Главными искомыми сравнительными механическими характеристиками был выбран модуль упругости и прочность стеклопластиковой арматуры. Результаты эксперимента приведены в таблице 2 и рисунке 6.

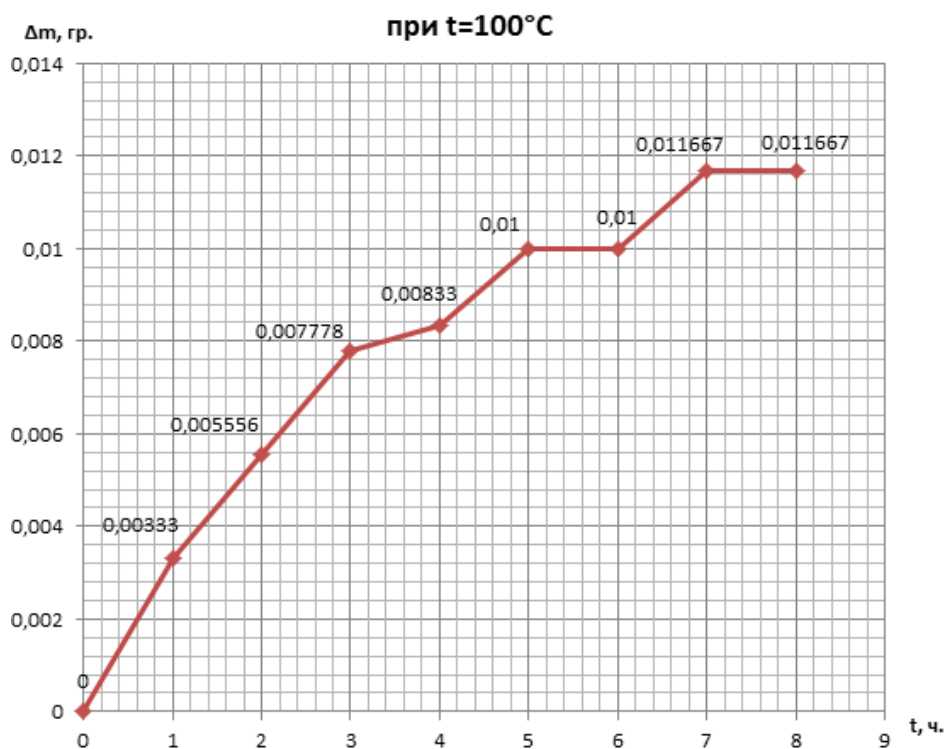


Рис. 5. Кинетика сорбции композитной арматуры в растворе NaOH с pH = 12 при  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

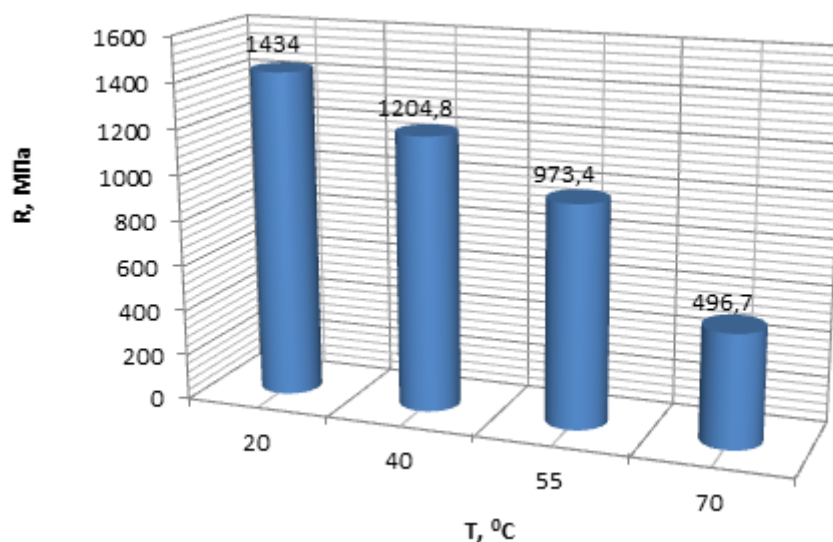


Рис. 6. Гистограмма зависимости прочности от температуры стеклопластиковой арматуры.

Согласно полученным результатам, при увеличении температуры арматурный стержень становится более пластичным, модуль упругости и прочность арматуры заметно уменьшается.

Таблица 2

Экспериментальные значения модуля упругости для цилиндрических стержней диаметром 6,5 мм и длиной  $L = 150$  мм из стекловолоконистых композитов при температуре 40, 55, 70 °С.

№	E, МПа		
	40 °С	55 °С	70 °С
1	65520	62752	-
2	58665	65056	37415
3	63618	58623	37475
4	64527	67954	40810
5	67317	60422	38224
6	62323	63448	31976
Статистическая обработка результатов			
Температура, °С	40 °С	55 °С	70 °С
Среднее, МПа	63611,7	63042	37180
Стандартная ошибка	1215,5	1351,8	1440,3
Медиана	64072,5	63100	37475
Стандартное отклонение	2977,4	3311,3	3220,6
Дисперсия выборки	8864856	10964967	10372676
Эксцесс	1,03	-0,27	2,5
Асимметричность	-0,8	0,2	-1,1
Коэффициент вариации, %	4,6	5,3	8,6

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для образцов композитной арматуры при разрушении наблюдается три участка нагружения. Первый участок до максимальной нагрузки и потери устойчивости, затем площадка стабильного восприятия нагрузки и участок разрушения;
2. С увеличением температуры скорость диффузии заметно увеличивается;
3. При повышении температуры арматурный стержень становится более пластичным, модуль упругости и прочность арматуры заметно уменьшаются.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савин В. Ф. Волков Ю. П., Гаврилов В. В., Блазнов А. Н., Рудольф А.Я. Метод определения механических характеристик композиционных материалов продольным изгибом // Сборник докладов IX международной научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон – 2012». – 2012. – часть II. – С. 233-243.
2. Соломатов В. И., Селяев В. П., Соколова Ю. А. Химическое сопротивление материалов. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.
3. Соломатов В. И., Селяев В. П. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
4. Селяев В. П., Соломатов В. И., Ошкина Л. М. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 152 с.