



УДК 539.3

**Каюмов Р.А.** – доктор физико-математических наук, профессор

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

**Шарафутдинова А.А.** – студент

E-mail: [alina\\_shara@mail.ru](mailto:alina_shara@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

## **Об оценке долговечности строительных конструкций из стеклопластика<sup>1</sup>**

### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – разработать методику оценки срока службы элементов конструкций из стеклопластика.

*Результаты.* Приводится краткий обзор работ, посвященных изучению различных факторов, влияющих на снижение прочности конструкций из стеклопластика, таких как температура, влажность, УФ-излучение, абразивный износ. Приведены результаты эксперимента на длительную прочность консольно закрепленных образцов, армированных поперек оси балки. На основе экспериментальных данных определены константы материала стеклопластика. Представлена методика и пример оценки срока службы стеклопластиковой балки при постоянной нагрузке, но переменной температуре, а так же пример расчета срока службы с учетом одновременного воздействия влажной среды и переменной температуры.

*Выводы.* Разработана методика, позволяющая определять срок службы конструкций из стеклопластика. Для этого использована модифицированная теория Журкова, учитывающая, что при достижении статического предела прочности удается получить условие мгновенного разрушения. Для учета переменной температуры использован закон линейного суммирования поврежденности.

**Ключевые слова:** долговечность, стеклопластик, эксперимент, старение, воздействие температуры.

### **Введение**

При разработке методик расчета безопасного срока эксплуатации необходимо учитывать понижение прочности при воздействии различных факторов: напряжений, влаги, абразивного износа, УФ-излучения, температуры.

В отличие от многих строительных материалов воздействие ультрафиолетового излучения на стеклопластик весьма существенно. Заполнитель (стеклянное волокно) пропускает ультрафиолетовое излучение, в то время как связующее вещество (эпоксидная смола) плохо переносит солнечный свет (УФ-излучение). Спустя примерно шесть месяцев нахождения под ярким солнечным светом начинается ее распад. Дальнейшее облучение вызывает меление и неизбежное ее разрушение с потерей всех физических свойств. Исходя из этого, можно сделать вывод, что разрушение связующего приведет к понижению прочности всего материала. Для предотвращения этого вводят пластификаторы и стабилизаторы. В целом, отмечено, что УФ-излучение имеет ограниченное влияние на механические свойства материала, затрагивая, прежде всего, поверхность материала. Однако, в условиях высокой влажности или при нахождении элементов из стеклопластика под водой, воздействие УФ-излучения ухудшает прочностные характеристики вплоть до 19 % [1-3].

Известно, что с течением времени прочность влажного стеклопластика падает (рис. 1). Характер поврежденных стеклопластиков под действием влаги определяется, с одной стороны, химией поверхности, а с другой – механикой разрушения. Основная причина понижения прочностных свойств – это ослабление адгезии на границе раздела полимерное связующее – стекловолокно [4]. Под воздействием воды стеклопластик

---

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-06018.

подвержен обратимым и необратимым потерям прочности. Обратимые потери прочности, которые связаны с набуханием связующего, высыханием и усадкой составляют 15-20 %, . Необратимые потери прочности, которые вызваны образованием микродефектов, могут составлять 5-35 %.

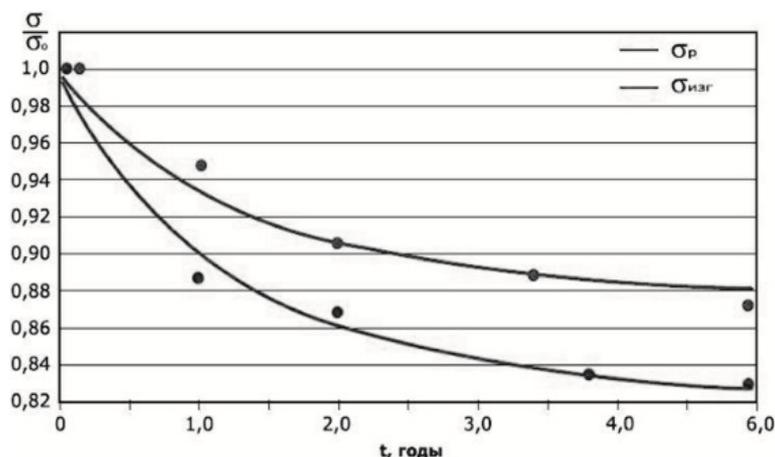


Рис. 1. Изменение относительной прочности влажного стеклопластика [4]

Установлено, что суточные колебания температуры в весенне-осенний период способствуют появлению термических напряжений. Так же возможно накопление микротрещин, сорбция и десорбция влаги с последующим ее замораживанием и оттаиванием, что ведет к хрупкому разрушению материала [5]. При низких климатических температурах для стеклопластиковых стержней выявлено существенное увеличение (до 20 %) значений разрушающих напряжений и предельных деформаций. Следовательно, стеклопластик является хладостойким и морозостойким материалом [5, 6].

К полям внешних факторов следует отнести и влияние абразивных частиц, присутствующих как в воздухе, так и в воде. Исследования этого фактора свидетельствуют о появлении абразивной эрозии, которая вызывается ударами механических частиц, взвешенных в воде или в воздухе. Стеклопластики в значительной степени подвержены абразивному износу.

Для разработки методики расчета на долговечность применяют различные подходы, например, теорию Работнова Ю.Н., Качанова Л.М., различные теории аналогий (температурно-временная, напряженно-временная), теорию Фика [7, 8].

Прочностные характеристики материалов постепенно падают также и при длительном действии механических нагрузок. Это ухудшение свойств материалов происходит благодаря постепенному накоплению повреждений в теле напряженного материала [9].

### Основная часть

Из различных методик расчета на долговечность в данной работе выбран подход, в основе которого лежат теория Журкова и закон линейного суммирования поврежденности.

В зависимости от уровня механических напряжений время до разрушения материалов  $t$  может определяться по формуле Журкова:

$$t^* = e^{\frac{b-\sigma}{T}}, \quad (1)$$

где  $t^*$  – время до разрушения ( $t = \tau/\tau_0$ ,  $\tau_0$  – константа размерности времени)  $\alpha$  и  $\beta$  – константы материала,  $T$  – температура (К),  $\sigma$  – напряжения (МПа).

Однако при достижении статического предела прочности  $\sigma = \sigma^*$  должно получаться  $\tau = 0$ . Для обеспечения этого условия можно модифицировать формулу Журкова в виде:

$$t^* = e^{\frac{b-\sigma}{T}} - e^{\frac{b-\sigma^*(T)}{T}}. \quad (2)$$

Здесь  $\sigma^*(T)$  – мгновенный предел прочности материала при температуре  $T$ .

Закон линейного суммирования поврежденности позволяет определить потерю ресурса за определенный промежуток времени при переменных нагрузках или температурах. Согласно этой теории поврежденность, накопленная за время  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ , будет:

$$\Delta w_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \frac{dt}{t^*}, \quad (3)$$

где  $t^*$  – время до разрушения от напряжений, которые действуют в момент времени  $t$ , принадлежит интервалу  $[t_i - t_{i-1}]$ . Тогда критерий прочности записывается в виде:

$$\sum \Delta w_i = 1. \quad (4)$$

В случае, когда на интервале  $\Delta t_i$  напряжения, температура и другие параметры постоянны, тогда из (3), (4) получим:

$$\sum \frac{\Delta t_i}{t_i^*} = 1. \quad (5)$$

Это условие позволяет определить время  $t^*$ , в течение которого конструкция выдерживает внешнюю нагрузку без разрушения.

Приведем пример расчета  $t^*$  для элемента конструкции в виде консольно закрепленной балки, изготовленной из стеклопластика. Для вычисления времени до разрушения  $\tau$  по формуле (1) в каждом месяце года нужно знать константы  $\alpha, \beta$ . Данные константы материала определяются из двух серий экспериментов на длительную прочность при различных комбинациях нагрузок и (или) температур.

Приведем результаты испытаний на изгиб стеклопластиковых балок (рис. 2), армированных поперек оси балки. Предельное напряжение вычисляется по формуле:

$$s^* = \frac{M}{W}, \quad (6)$$

где  $M$  – изгибающий момент,  $W$  – момент сопротивления сечения. При  $T_0=293^0\text{K}$  получилось, что предел прочности на изгиб имеет значение:

$$\sigma^*(293)=47,6 \text{ МПа}.$$



Рис. 2. Эксперимент на длительную прочность

Испытания на длительную прочность проводились также при  $T_1 = T_2 = 293^0\text{K}$  и дали следующие результаты. Разрушение первого образца из стеклопластика произошло через  $t=60$  суток, второго – через  $t=9$  суток (рис. 3-4). Экспериментальные данные занесены в табл. 1.

Таблица 1

#### Экспериментальные данные

Метка образца	Длина консоли (мм)	Толщина (мм)	Ширина (мм)	Изгибающая нагрузка (Н)	W (мм <sup>3</sup> )	Напряжение предельное (Н/мм <sup>2</sup> )	Время (сутки)
2.1.90	60,0	4,0	25,5	50	68	41,11	60
2.2.90	61,5	4,1	24,2	50	67,8	45,35	9



Рис. 3. Вид разрушенного образца № 1



Рис. 4. Вид разрушенного образца № 2

Из двух экспериментов получим систему уравнений (везде ниже принято, что  $\tau_0=1$  день):

$$60 = e^{\frac{b-a44,11}{293}} - e^{\frac{b-a47,6}{293}} ; 9 = e^{\frac{b-a45,35}{293}} - e^{\frac{b-a47,6}{293}} .$$

Решение ее можно проводить методом простых итераций. На первом шаге при  $\alpha=0, \beta=0$  получим  $\alpha= 425,823 \text{ К/МПа}$ ,  $\beta= 19983,4 \text{ К}$ ; после 2-й итерации  $\alpha= 438,551 \text{ К/МПа}$ ,  $\beta = 20541,9 \text{ К}$ ; после 3-й итерации  $\alpha= 439,75 \text{ К/МПа}$ ,  $\beta = 20594,5 \text{ К}$ ; после 4-й итерации  $\alpha= 439,854 \text{ К/МПа}$ ,  $\beta=20599,0 \text{ К}$ ; после 5-й итерации  $\alpha=439,863 \text{ К/МПа}$ ,  $\beta=20599,4 \text{ К}$ . Таким образом, процесс сходится достаточно быстро.

Далее рассмотрим пример оценки срока службы нашей балки при переменных температурах, предполагая, что эти перепады вызваны сменой времен года. При этом используем отмеченный выше факт, что при небольшом колебании температуры мгновенная статическая прочность пластиков изменяется незначительно. Примем, что:

$$\sigma = 40,5 \text{ МПа}, \alpha = 439,863 \text{ К/МПа}, \beta = 20599,4 \text{ К}.$$

Теперь по модифицированной формуле Журкова (2) найдем время до разрушения в разные месяцы года, считая температуру постоянной в течение месяца.

За первый месяц ( $\Delta t=31$  суток) при  $\sigma=40,5 \text{ МПа}$  и при температуре  $T_1=252 \text{ К}$  получим:

$$t_1 = e^{\frac{20599,4-439,863 \times 40,5}{252}} - e^{\frac{20599,4-439,863 \times 47,6}{293}} = 63029,84 \text{ суток}.$$

Поврежденность за каждый месяц вычисляется по формуле (3). Например, за первый месяц она будет:

$$\Delta \omega_1 = \frac{\Delta t}{t^*} = \frac{31}{63029,84} = 0,000492.$$

Аналогично находим  $\Delta \omega_2, \Delta \omega_3$  и т.д. Все данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Расчет поврежденности по месяцам**

	Месяцы	$T_i \text{ (K)}$	$\sigma \text{ (МПа)}$	$t_i \text{ (суток)}$	$\Delta t_i \text{ (суток)}$	$\Delta \omega_i$	
$\alpha \text{ (К/МПа)}$	439,863	январь	252	40,5	63029,84	31	0,000491831
$\beta \text{ (K)}$	20599,4	февраль	258	40,5	48744,57	28	0,000574423
		март	274	40,5	25951,86	31	0,001194519
		апрель	283	40,5	18783,66	30	0,001597133
		май	290	40,5	14811,93	31	0,002092907
		июнь	293	40,5	13424,72	30	0,002234684
		июль	303	40,5	9809,68	30	0,003058203
		август	298	40,5	11445,57	31	0,002708471
		сентябрь	290	40,5	14811,93	30	0,002025394
		октябрь	283	40,5	18783,66	31	0,001650371
		ноябрь	272	40,5	27965,80	30	0,001072739
		декабрь	252	40,5	63029,84	31	0,000491831

Поврежденность, накопленная за год, составляет:

$$w = \sum_i \frac{\Delta t_i}{t_i} = 0,019193 \times 100\% = 1,9193 \%$$

Далее можно вычислить время, при котором потеря ресурса составит 100 %:

$$X = \frac{1 \text{ год} \times 100\%}{1,9193\%} = 52,1 \text{ года.} \quad (7)$$

Таким образом, срок службы балки реального из рассмотренного стеклопластика составит 52,1 года.

Рассмотрим более крупные отрезки времени, то есть не по месяцам, а по временам года. И проанализируем как это влияет на общий расчет. Поврежденность за три месяца зимы вычисляется по формуле (3). Например, за зимний период времени она будет:

$$\Delta w_1 = \frac{\Delta t_1}{t^*} = \frac{90}{63030,75} = 0,001428.$$

Аналогично находим  $\Delta \omega_2$ ,  $\Delta \omega_3$  и т.д. Все данные сведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет поврежденности по временам года

		Месяцы	$T_i$ (K)	$\sigma$ (МПа)	$t_i$ (суток)	$\Delta t_i$ (суток)	$\Delta \omega_i$
$\alpha$ (К/МПа)	439,863	зима	252	40,5	63030,75	90	0,001427875
$\beta$ (K)	20599,4	весна	283	40,5	18784,56	92	0,004897639
		лето	298	40,5	11446,48	91	0,007950045
		осень	282	40,5	19451,66	91	0,004678264

Поврежденность, накопленная за год, составляет:

$$w = \sum_i \frac{\Delta t_i}{t_i} = 0,018954 \times 100\% = 1,895 \%$$

Далее можно вычислить время, при котором потеря ресурса составит 100 %:

$$X = \frac{1 \text{ год} \times 100\%}{1,895\%} = 52,76 \text{ года.}$$

Видно, что деление на более крупные отрезки времени незначительно повлияло на результат.

Далее был проведен расчет с использованием нелинейной теории накопления повреждений [10]. Пересчитаем поврежденность за каждый месяц по формуле:

$$\Delta w_1 = A_1 \left( \frac{\Delta t_1}{t^*} \right)^{c_1} = 1,05 \left( \frac{31}{63029,84} \right)^{0,8} = 0,002369, \quad (8)$$

где коэффициенты  $A_i$ ,  $c_i$  – константы соотношения, значения которых зависят от уровня нагружения и типа ПКМ. Для первого уровня нагружения, когда нагрузка находится в пределах 70-80 % от предела прочности коэффициенты равны:

$$A_i = 1,05, \quad c_i = 0,8.$$

Аналогично находим  $\Delta \omega_2$ ,  $\Delta \omega_3$  и т.д. Все данные сведены в табл. 4.

Таблица 4

Расчет поврежденности с учетом нелинейной теории накопления повреждений

		Месяцы	$T_i$ (K)	$\sigma$ (МПа)	$t_i$ (суток)	$\Delta t_i$ (суток)	$\Delta \omega_i$
$\alpha$ (К/МПа)	439,863	январь	252	40,5	63030,75	31	0,002369
$\beta$ (K)	20599,4	февраль	258	40,5	48745,47	28	0,002683
		март	274	40,5	25952,77	31	0,004819
		апрель	283	40,5	18784,56	30	0,006079
		май	290	40,5	14812,84	31	0,007547
		июнь	293	40,5	13425,62	30	0,007953
		июль	303	40,5	9810,58	30	0,010222
		август	298	40,5	11446,48	31	0,009276
		сентябрь	290	40,5	14812,84	30	0,007351
		октябрь	283	40,5	18784,56	31	0,006241
		ноябрь	272	40,5	27966,70	30	0,004422
		декабрь	252	40,5	63030,75	31	0,002369

Поврежденность, накопленная за год, составляет:

$$w = \sum_i \frac{\Delta t_i}{t_i} = 0,071331 \times 100 \% = 7,133 \%$$

Далее можно вычислить время, при котором потеря ресурса составит 100 %:

$$X = \frac{1200 \times 100\%}{7,133\%} = 14 \text{ лет.}$$

Был проведен численный анализ по вычислению коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  в формулах Журкова при возмущениях исходных данных (изменении их на 1-5 %). Оказалось, что при использовании теории Журкова коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  сильно изменяются, то есть задача неустойчива. Гиперболо-степенная функция (9) оказалась же более устойчивой:

$$t = t_0 \left( b \left( \frac{a}{S} - 1 \right)^2 [R_b(K_T, K_W) - S] \right)^{\frac{T_0}{T}}, \quad (9)$$

где  $K_m$  – коэффициент, коэффициент, показывающий во сколько раз увеличился или уменьшился предел прочности по сравнению с экспериментальным пределом прочности в зависимости от температуры окружающей среды [4],  $K_w$  – коэффициент, показывающий во сколько раз уменьшился предел прочности по сравнению с экспериментальным пределом прочности,  $R_b(K_m, K_w)$  – значение прочности после действия двух факторов: температур и влажности.

В качестве  $T_0$ ,  $\tau_0$  приняты данные, полученные в экспериментах:  $T_0 = 293$  К – температура, при которой проводился эксперимент,  $\tau_0 = 1$  день.

Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  вычисляются как и в предыдущих расчетах из системы двух уравнений, по результатам эксперимента двух образцов:

$$60 = 1 \left( b \left( \frac{a}{44,11} - 1 \right)^2 [47,6 - 44,11] \right)^{\frac{293}{293}},$$

$$9 = 1 \left( b \left( \frac{a}{45,35} - 1 \right)^2 [47,6 - 45,35] \right)^{\frac{293}{293}}.$$

Решая систему уравнений итерационным способом, определяются константы материала:

$$\alpha = 46,57 \text{ МПа}, \beta = 5528 \text{ МПа}^{-1}.$$

Учтем одновременное воздействие температуры и влажности в каждом месяце года. Согласно графику из источника [4], предел прочности при выдержке образцов во влажной среде уменьшается примерно на 0,01 % за 1/12 года, то есть за один месяц. В месяцах, когда имеется повышенная влажность, учтем это уменьшение прочности, умножением на коэффициент 0,99. Уменьшение прочности от воздействия температур учтем, используя график (рис. 5) из источника [6].

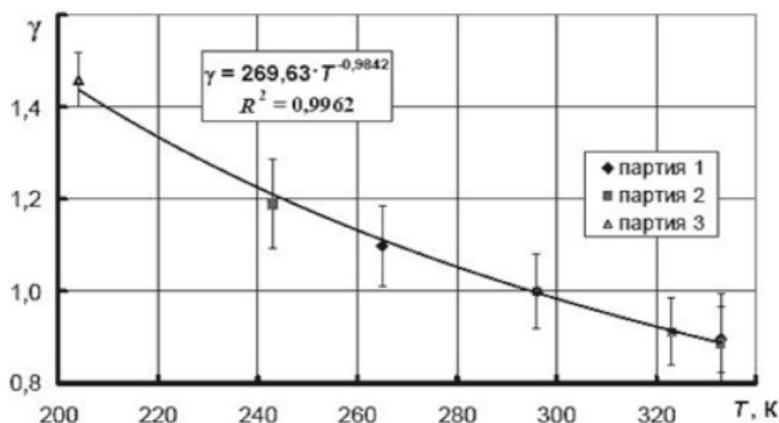


Рис. 5. Зависимость относительной прочности на изгиб от температуры [6]

Получим коэффициенты, на которые нужно умножить значение прочности, чтобы получить значение прочности под влиянием какого – либо фактора (табл. 5).

Таблица 5

## Расчет значения прочности с учетом воздействия температуры и влажности

Месяцы	Влажность	$T (K)$	$K_T$	$K_w$	$R_b(K_m K_w)(MПа)$
январь	-	252	1,165	1	55,454
февраль	-	258	1,16	1	55,216
март	+	274	1,09	0,99	51,365
апрель	+	283	1,05	0,99	49,4802
май	-	290	1,02	0,99	48,066
июнь	-	293	1	1	47,6
июль	-	303	0,96	1	45,696
август	-	298	0,98	1	46,648
сентябрь	+	290	1,02	0,99	48,0664
октябрь	+	283	1,05	0,99	49,4802
ноябрь	+	272	1,08	0,99	50,893
декабрь	-	252	1,165	1	55,454

Теперь по модифицированной формуле (9) найдем время до разрушения в разные месяцы года, считая температуру постоянной в течение месяца.

Примем, что максимальное напряжение действующее в элементе:

$$\sigma = 35 \text{ МПа.}$$

За первый месяц ( $\Delta t = 31$  суток) при  $\sigma = 35 \text{ МПа}$  и при температуре  $T_i = 252 \text{ K}$  получим:

$$t = 1 \left( 5528 \left( \frac{46,57}{35} - 1 \right)^2 [55,45 - 35] \right)^{\frac{293}{252}} = 57229,35.$$

Поврежденность за каждый месяц вычисляется по формуле (3). Например, за первый месяц она будет:

$$\Delta w_1 = \frac{\Delta t_1}{t^*} = \frac{31}{57229,35} = 0,000542.$$

Аналогично находим  $\Delta w_2$ ,  $\Delta w_3$  и т.д. Все данные сведены в табл. 6.

Таблица 6

## Расчет поврежденности по месяцам

		Месяцы	$T_i (K)$	$\sigma (MПа)$	$t_i (\text{суток})$	$\Delta t_i (\text{суток})$	$\Delta w_i$
$\alpha (MПа)$	46,57	январь	252	35	57229,35	31	0,00054168
$\beta (MПа^{-1})$	5528	февраль	258	35	43772,76	28	0,000639667
		март	274	35	18708,79	31	0,001656975
		апрель	283	35	12054,86	30	0,002488624
		май	290	35	8661,11	31	0,003579216
		июнь	293	35	7611,48	30	0,003941414
		июль	303	35	4836,90	30	0,006202322
		август	298	35	6064,53	31	0,00511169
		сентябрь	290	35	8661,11	30	0,003463758
		октябрь	283	35	12054,86	31	0,002571578
		ноябрь	272	35	19488,97	30	0,001539332
		декабрь	252	35	57229,35	31	0,00054168

Поврежденность, накопленная за год, составляет:

$$w = \sum_i \frac{\Delta t_i}{t_i} = 0,03227 \times 100 \% = 3,227 \%$$

Далее можно вычислить время, при котором потеря ресурса составит 100 %:

$$X = \frac{1 \text{ год} \times 100\%}{3,227\%} = 30,98 \text{ лет.}$$

Таким образом, срок службы балки из реального рассмотренного стеклопластика, с учетом воздействия влажной среды и переменных значениях прочности за счет колебания температур в течение года, составит 30,98 лет.

Используя выше изложенную методику оценки долговечности, можно вычислить срок службы балки из стеклопластика при различных напряжениях (рис. 6).

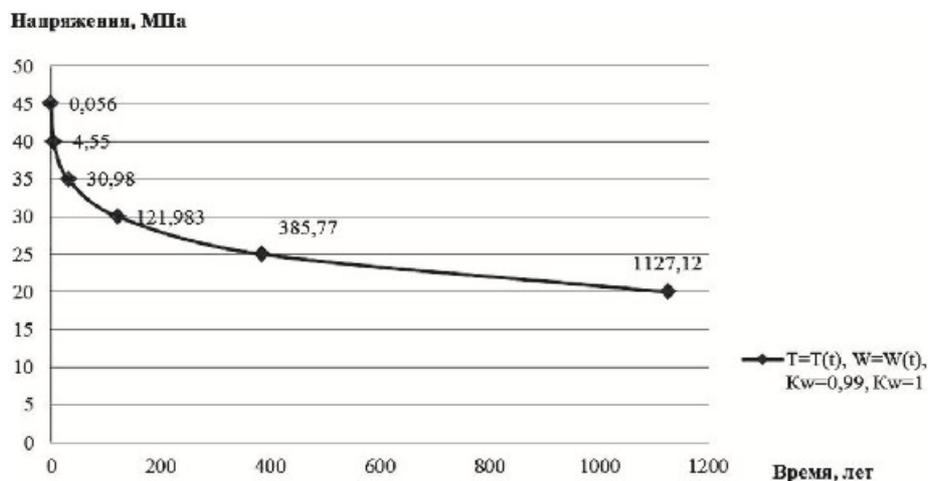


Рис. 6. График зависимости долговечности от действующих нагрузок при условии  $T=T(t), W=W(t), K_w=0,99, K_w=1$

### Заключение

1. Разработана методика определения долговечности конструкции, в основе которой лежат теория Журкова и закон линейного суммирования поврежденности.
2. Приведены пример обработки авторских длительных испытаний на изгиб стеклопластиковой балки, а также пример расчета ее долговечности при переменных температурах.
3. Деление на более крупные отрезки времени незначительно влияет на расчет по долговечности (в примере срок службы изменяется от 52,1 до 52,76 года).
4. Расчет с учетом нелинейной теории накопления повреждений существенно влияет на конечный результат.
5. Протестирована гипербола-степенная функция, которая дает результаты более устойчивые к возмущениям экспериментальных данных, используемых для определения механических характеристик.

### Список библиографических ссылок

1. Correia J. R., Valarinho L., Branco F. A. Post-cracking strength and ductility of glass-GFRP composite beams // *Composite Structures*. 2011. № 93. P. 2299–2309.
2. Correia J. R., Gomes M. M., Pires J. M., Branco F. A. Mechanical behaviour of pultruded glass fibre reinforced polymer composites at elevated temperature: experiments and model assessment // *Composite Structures*. 2013. № 98. P. 303–313.
3. Cabral-Fonseka S, Correia J. R, Rodrigues M. P., Branco F. A. Artificial accelerated ageing of GFRP pultruded profiles made of polyester and vinylester resins: characterisation of physical-chemical and mechanical damage // *Strain*. 2012. № 48. P. 162-173.
4. Корецкая Л., Александрова Т. Влияние воды на свойства стеклопластиков // *Технологии и материалы*. 2011. № 1 (31). С. 38–41.
5. Федоров Ю. Ю., Бабенко Ф. И., Герасимов А. А., Лапий Г. П. Влияние факторов холодного климата на механические свойства композитных стержней из стекло- и базальтопластиков // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2012. № 2. С. 56–61.

6. Блазнов А. Н., Савин В. Ф., Атясова Е. В., Бабенко Ф. И., Федоров Ю. Ю. Влияние температуры на прочность базальто- и стеклопластиков // Ползуновский вестник. 2014. № 4. Т. 2. С. 154–159.
7. Каюмов Р. А., Страхов Д. Е., Абдуллин И. Ш., Гришанова И. А., Федорова М. А. Прогнозирование деформации во времени высокопрочных полиэтиленовых волокон при различной температуре // Известия КГАСУ. 2011. № 4 (18). С. 238–242.
8. Каюмов Р. А., Мухамедова И. З., Шакирова А. М., Абдуллин И. Ш., Хамматова В. В. Анализ влияния холодной плазмы на жесткостные характеристики полимерных материалов // Известия КГАСУ. 2010. № 1 (13). С. 302–307.
9. Карапетян К. А. Сопротивление деформированию и разрушению армированных пластиков. Ереван, 2014. 164 с.
10. Стрижиус В. Е. Методы приближенных оценок усталостной долговечности типовых элементов композитных авиаконструкций // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 211 (1). С. 23–28.

**Kayumov R.A.** – doctor of physical and mathematical sciences, professor

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

**Sharafutdinova A.A.** – student

E-mail.ru: [alina\\_shara@mail.ru](mailto:alina_shara@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### About an estimation of operational durability of building designs from fiberglass

#### Abstract

*Problem statement.* The purpose of the study is to develop a methodology for estimating the service life of structural elements made of fiberglass.

*Results.* A brief review of the work devoted to the study of various factors affecting the reduction in strength of structures made of fiberglass, such as temperature, humidity, UV-radiation, abrasive wear, is given. The results of the experiment on the long-term strength of cantilevered specimens reinforced across the beam axis are presented. Based on the experimental data, the constants of the fiberglass material are determined. The technique and an example of an estimation of service life of a fiberglass beam with a constant load, but variable temperature, as well as an example of calculating the service life taking into account the simultaneous action of a moist environment and a variable temperature is presented.

*Conclusions.* A technique has been developed that allows to determine the service life of structures made of fiberglass based on experimental data. For this, a modified Zhurkov's theory is used, taking into account that when the static limit of strength is reached, it is possible to obtain the instantaneous destruction condition. To account for the variable temperature, the law of linear summation of damage is used.

**Keywords:** durability, fiberglass, experiment, aging, temperature effect.

#### References

1. Correia J. R., Valarinho L., Branco F. A. Post-cracking strength and ductility of glass–GFRP composite beams // Composite Structures. 2011. № 93. P. 2299–2309.
2. Correia J. R., Gomes M. M., Pires J. M., Branco F. A. Mechanical behaviour of pultruded glass fibre reinforced polymer composites at elevated temperature: experiments and model assessment // Composite Structures. 2013. № 98. P. 303–313.
3. Cabral-Fonseka S., Correia J. R., Rodrigues M. P., Branco F. A. Artificial accelerated ageing of GFRP pultruded profiles made of polyester and vinylester resins: characterisation of physical-chemical and mechanical damage // Strain. 2012. № 48. P. 162-173.

4. Koretskaya L., Alexandrova T., Effect of water on the properties of fiberglass. // *Tekhnologii i materialy*. 2011. № 1 (31). P. 38–41.
5. Fedorov Yu. Yu., Babenko F. I., Gerasimov A. A., Lapiy G. P. Influence of Cold Climate Factors on the Mechanical Properties of Composite Rods from Glass and Basalt Plastics // *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovaniye, instrumenty)*. 2012. № 2. P. 56–61.
6. Blaznov A. N., Savin V. F., Atyasova E. V., Babenko F. I., Fedorov Yu. Yu. Effect of temperature on the strength of basalt and fiberglass plastics // *Polzunovsky Vestnik*. 2014. № 4. Т. 2. P. 154–159.
7. Kayumov R. A., Strakhov D. E., Abdullin I. Sh., Grishanova I. A., Fedorova M. A. Forecasting the deformation in time of high-strength polyethylene fibers at different temperatures // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 4. P. 238–242.
8. Kayumov R. A., Mukhamedova I. Z., Shakirova A. M., Abdullin I. Sh., Hammatova V. V. Analysis of the effect of cold plasma on the stiffness characteristics of polymer materials // *Izvestiya KSASU*. 2010. № 1 (13). P. 302–307.
9. Karapetyan K. A. Resistance to deformation and destruction of reinforced plastics. Erevan, 2014. 164 p.
10. Strizhius V. E. Methods of approximate estimations of fatigue life of typical elements of composite aircraft structures // *Nauchnyy vestnik MGTU GA*. 2015. №. 211 (1). P. 23–28.