

УДК: 620.171.311
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.3
EDN: ESTXDX



Зависимость сопротивления ползучести стеклопластиковых элементов от начальной разориентации направления армирования

К.А. Карапетян¹

¹Национальная академия наук Республики Армения,
г. Ереван, Армения

Аннотация. Эффективность применения волокнисто-армированных полимерных композитов, в частности стеклопластиков, в элементах строительных конструкций, работающих в режиме постоянных длительных нагрузок, определяется сопротивлением деформации ползучести. Последнее зависит от степени ориентации волокон в направлении действия механических напряжений, которое задается при проектировании изделия (конструкции). В случае отклонения, то есть разориентации, обусловленной технологическими причинами, длительные деформации возрастают. В связи с этим становится актуальным исследование влияния начальной (при изготовлении) разориентации на ползучесть изделий из стеклопластиков, что и явилось целью настоящей работы. Задачи состояли в экспериментальном исследовании ползучести плоских и трубчатых образцов стеклопластика с разной степенью разориентации волокон, определение различия модуля ползучести в плоских и трубчатых образцах, формулирование конструктивных рекомендаций по снижению ползучести стеклопластиковых изделий при их эксплуатации под нагрузкой.

Установлено, что разориентация направления армирования от предусмотренного проектом приводит к существенному увеличению деформации ползучести при растяжении стеклопластиковых элементов (плоских и трубчатых) по сравнению с одноименными деформационными характеристиками, аналогичных элементов с проектными направлениями армирования. При этом, в условиях действия постоянного растягивающего напряжения, при одном и том же угле армирования сопротивление ползучести при растяжении трубчатых элементов оказывается больше, чем плоских. Предлагается конструкционный метод решения задачи оптимального проектирования стеклопластиковых плоских и тонкостенных трубчатых элементов, на деформации которых наложены ограничения.

Ключевые слова: слоистый стеклопластик, разориентация направления армирования, одноосное растяжение, плоские и трубчатые элементы, деформации ползучести, модуль ползучести при растяжении

Для цитирования: Карапетян К.А. Зависимость сопротивления ползучести стеклопластиковых элементов от начальной разориентации направления армирования // Известия КГАСУ, 2024, № 4(70), с. 33-41, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.3, EDN: ESTXDX

Dependence of creep resistance of fiberglass elements on the initial misalignment of the reinforcement direction

К.А. Karapetyan¹

¹The National Academy of Sciences of the Republic of Armenia,
Yerevan, Armenia

Abstract. The efficiency of using fiber-reinforced polymer composites, in particular fiberglass, in elements of building structures operating under constant long-term loads is determined by the resistance to creep deformation. The latter depends on the degree of fiber orientation in the

direction of mechanical stress, which is specified during the design of the product (structure). In case of deviation, i.e. misalignment due to technological reasons, long-term deformations increase. In this regard, it becomes relevant to study the effect of the initial (during manufacture) misalignment on the creep of fiberglass products, which was the purpose of this work. The objectives were to experimentally study the creep of flat and tubular fiberglass samples with different degrees of fiber misalignment, determine the difference in the creep modulus in flat and tubular samples, and formulate design recommendations for reducing the creep of fiberglass products during their operation under load. It has been established that misalignment of the reinforcement direction from that provided by the design leads to a significant increase in creep deformation during tension of fiberglass elements (flat and tubular) compared to the same deformation characteristics of similar elements with the designed reinforcement directions. At the same time, under the action of constant tensile stress, with the same reinforcement angle, the creep resistance during tension of tubular elements is greater than that of flat ones. A design method is proposed for solving the problem of optimal design of fiberglass flat and thin-walled tubular elements, on the deformations of which restrictions are imposed.

Keywords: laminated fiberglass, reinforcement direction misalignment, uniaxial tension, flat and tubular samples, creep deformations, creep modulus during tension

For citation: Karapetyan K.A. Dependence of creep resistance of fiberglass elements on the initial misalignment of the reinforcement direction // News of KSUAE, 2024, № 4(70), p. 33-41, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.3, EDN: ESTXDX

1. Введение

Деформационные свойства полимерных композитов определяются в первую очередь полимерным связующим, специфика молекулярно-топологического строения которого проявляется в виде вынужденно-эластических деформаций в стеклообразном состоянии и высокоэластических выше температуры стеклования. Армирование стеклянными волокнами препятствует развитию этих деформаций, однако эффективность их сильно зависит от геометрического соотношения направления ориентации волокон в изделии и направления действующих в нем растягивающих напряжений. Особенно важна роль разориентации в строительных конструкциях из стеклопластика, работающих в режиме длительных постоянных нагрузок, вызывающих ползучесть материала.

Армированные пластики (АП), благодаря своим уникальным физико-механическим свойствам (управляемая, в известной мере, высокая удельная прочность и жесткость в направлении армирования в сочетании с малой средней плотностью [1]) уже не один десяток лет находят применение в ответственных конструкциях и конструктивных элементах, предназначенных для эксплуатации в различных областях техники и в строительных сооружениях. В частности, разнообразные профили из волокнисто-армированных пластиков нашли применение в гражданском строительстве [2-4], в восстанавливаемых аварийных конструкциях [5] и др.

Современные методы расчетов конструкций из АП построены на основе так называемой «Идеализированной модели», состоящей из непрерывных, прямолинейных армирующих компонентов, равномерно распределенных в податливой матрице по строго определенным направлениям [6]. Однако, в действительности, структурное строение элементов из АП, полученных применяемыми в настоящее время технологическими приемами, далеко от упомянутой модели, и практически невозможно избежать микро и макродефектов, образовавшихся в них по разным причинам [7]. К числу часто встречающихся макродефектов, в первую очередь, можно отнести и разориентацию направления армирования от предусмотренного, происходящую на этапе технологического процесса переработки материала в изделие. Чувствительность АП к указанному дефекту, являющаяся в основном, следствием их существенной анизотропии и слабого сопротивления сдвигу [6], в некоторых случаях, может стать причиной ранней потери устойчивости сжимаемых тонкостенных, а также расширению зоны разрушения изгибаемых конструктивных элементов из таких материалов [7-8].

Строительные конструкции, в ответственных узлах и частях которых применяются элементы из АП, при эксплуатации подвергаются разнохарактерным силовым

воздействиям, в том числе и длительно действующим. Одной из особенностей механических свойств АП является их чувствительность к продолжительности действия нагрузки (свойство ползучести материалов), которая появляется уже при комнатной температуре и может сильно повлиять на напряженно- деформированное состояние конструкций из АП [9].

В связи с этим становится актуальным исследование влияния начальной (при изготовлении) разориентации на ползучесть изделий из стеклопластиков, что и явилось целью настоящей работы.

Задачами исследования являются: 1) экспериментально исследовать ползучесть плоских и трубчатых элементов из стеклопластика с тканевым армированием и разориентацией основных волокон; 2) выявить количественную разницу в деформациях ползучести и модуля ползучести при 0° и $6-8^\circ$ угла армирования от оси нагружения: плоских и трубчатых образцов стеклопластика; 3) предложить конструктивное решение для увеличения жесткости (модуля ползучести) стеклопластиковых элементов, работающих при длительной осевой нагрузке.

2. Материалы и методы

Технологическая разориентация направления армирования от предусмотренного в элементах из АП, в основном, происходит в процессе переработки материала в изделие и вероятность ее появления может оказаться большей в случае изготовления пространственных элементов.

Явление разориентации армирования было обнаружено при изготовлении конструкционных плоских элементов способом вырезки из стеклопластикового листа, изготовленного на основе кордной ткани марки ВПС-20 [10]. В результате проведенных измерений было выявлено, что величина стандартного отклонения S_φ направления вырезки от заданного угла в среднем составляет более чем $5,5^\circ$.

Аналогичное упомянутому выше явление наблюдалось и при изготовлении методом намотки трубчатых элементов из слоистого стеклопластика на основе стеклоткани полотняного переплетения с основным перекрытием таким образом, чтобы направление основных нитей вязки армирующей материал стеклоткани совпадало с направлением оси труб (величина угла армирования $\varphi = 0^\circ$). Однако, у части изготовленных трубчатых образцов (примерно 8% от общего количества) было обнаружено отклонение угла направленности армирования от предусмотренного, среднее значение которого колебалось в пределах $6-8^\circ$ [11].

Учитывая изложенное, для осуществления экспериментальной части проведенных исследований, были изготовлены по две партии плоских и тонкостенных трубчатых элементов-опытных образцов из тканевого стеклопластика. Была использована стеклоткань полотняного переплетения с основным перекрытием [12] марки Т-23 (ТУ 6-11-231-76) с плотностью 36:20 (отношение количеств основных и утковых нитей на 1см^2 вязки ткани), производимой Севанским заводом "Электростеклоизоляция" (Республика Армения). Связующее для стеклопластика изготавливалось на основе эпоксифенольных смол (ЭД-20 и БФ-4). Коэффициент армирования стеклопластика составляет $\mu = 0,45$ ($\mu_{\text{основа}} = 0,29$, $\mu_{\text{уток}} = 0,16$).

Опытные стандартные плоские образцы в виде двухсторонней лопатки и бруска прямоугольного сечения (образцы по ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2-2012) и по ГОСТ 9550-81, соответственно) были получены способом вырезки из стеклопластиковых исходных листов, изготовленных методом прямого горячего прессования. Получение стандартных плоских образцов из исходных листов осуществлялось таким образом, чтобы угол между направлениями вырезки и укладки основных нитей вязки армирующей материал стеклоткани у одной партии образцов составлял $\varphi = 0^\circ$, а у другой партии – $\varphi = 6-8^\circ$.

Стеклопластиковые трубчатые образцы с рекомендованными размерами (внутренний диаметр 38 мм, толщина стенки 2.25 мм, длина 285 мм) как первой партии (трубы, армированные симметрично относительно оси – угол между направлениями основных нитей вязки стеклоткани и оси труб составляет $\varphi = 0^\circ$), так и второй партии (трубы с изначально нарушенной симметрией армирования относительно оси-величина угла между упомянутыми направлениями составляет $\varphi = 6 - 8^\circ$) были изготовлены по технологии, известной в литературе как "Самопрессование" [13].

Кратковременные испытания на одноосное растяжение стеклопластиковых плоских образцов осуществляли согласно требованиям упомянутых выше стандартов, а трубчатых образцов-при линейной скорости относительного движения зажимов испытательной машины $2 \pm 0,4 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$. При испытаниях на ползучесть как плоских, так

и трубчатых опытных образцов, продолжавшихся на протяжении 76 сут., величина постоянно действующего растягивающего напряжения составляла 0,6 доли от значения предела разрушающего напряжения этих образцов.

При кратковременных испытаниях повторность опытов в каждом рассматриваемом случае была принята 6-ти кратной (максимальное значение коэффициента вариации не превышало 0,11, установленное в случае разрушающего напряжения трубчатых образцов с $\varphi = 6 - 8^\circ$ и 0,14, установленное в случае показателей деформаций таких же труб). При испытаниях на ползучесть повторность опытов в каждом случае была принята трехкратной (максимальный разброс величин измеренных деформаций по отношению к их среднеарифметическому значению, наблюдаемый у плоских образцов с $\varphi = 6-8^\circ$, составлял $\pm 6,1\%$). До проведения общего объема экспериментов стеклопластиковые готовые трубчатые образцы, как и исходные листы, из которых в дальнейшем были вырезаны плоские опытные образцы, в течение 8 лет хранились в помещении лаборатории при средней температуре 23°C и относительной влажности 64%.

3. Результаты и обсуждение

До перехода к рассмотрению результатов исследований, представленных в данной работе, отметим, что часть из них довольно подробно обсуждалась в работах [14,15]. Некоторые результаты из этих работ, дополненные новыми экспериментальными данными, здесь рассматриваются с точки зрения оформления некоторых обобщающих выводов, учет которых может быть полезным в деле оптимального проектирования плоских и тонкостенных трубчатых конструктивных элементов из армированных тканью пластиков.

Ниже рассматриваются результаты проведенных кратковременных экспериментов.

Испытания, проведенные согласно ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2-2012) и ГОСТ 9550-81 с применением стандартных плоских образцов, показали, что разориентация угла направленности армирования в пределах $6 - 8^\circ$ от его нулевого угла направленности (от предусмотренного), практически не влияет на прочность слоистого стеклопластика при растяжении в направлении основных нитей вязки армирующей материал стеклоткани, но приводит к существенному уменьшению модуля упругости материала в этом направлении (табл.1). Величина спада модуля упругости тканевого стеклопластика, происходящего вследствие разориентации направления армирования от предусмотренного в упомянутых выше пределах, составляет более чем 24%.

Таблица 1

Результаты кратковременных испытаний опытных плоских и тонкостенных трубчатых образцов из слоистого стеклопластика

Вид испытываемого образца	Угол армирования образцов, φ°	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости, $E_{11} \times 10^{-3}$ МПа	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Приведенный модуль упругости, $E_{11} \times 10^{-3}$
плоские по ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2-2012) и по ГОСТ9550-81	0	138,0	16,21	–	–
	6-8		12,31	–	–
тонкостенные трубчатые с рекомендованными размерами	0	–	–	146,0	17,65
	6-8	–	–		13,53

Согласно данным проведенных кратковременных испытаний, отклонение угла армирования в пределах $6-8^\circ$ от предусмотренного нулевого его значения, мало влияя на

величину разрушающего растягивающего напряжения тонкостенных трубчатых элементов из тканевого стеклопластика, приводит к существенному уменьшению сопротивляемости деформированию на прямолинейном участке диаграммы растягивающее напряжение–продольная (осевая) деформация (эту деформационную характеристику назовем приведенным модулем упругости). Спад приведенного модуля упругости, происходящий вследствие разориентации направления армирования стеклопластиковых трубчатых образцов в упомянутых выше пределах, составляет примерно 30% (табл.1) [16].

Ниже рассматриваются результаты исследования ползучести при одноосном растяжении упомянутых выше обеих партий плоских и трубчатых элементов из тканевого стеклопластика.

Здесь следует отметить, что исследования по установлению характеристик ползучести при растяжении жестких, полужестких пластмасс, в том числе и армированных, обычно проводят согласно ГОСТ 18197-2014 (ISO 899-1) с применением опытных плоских образцов в виде бруска прямоугольного сечения. Проведение исследований ползучести при одноосном растяжении плоских образцов из тканевого стеклопластика с учетом разориентации направления армирования от предусмотренного нами было осуществлено согласно упомянутому стандарту. Параллельно, сохраняя требуемые стандартом ГОСТ 18197-2014 (ISO 899-1) условия испытания, была изучена и ползучесть стеклопластиковых трубчатых образцов, упомянутых выше обеих партий.

При этом предполагалось, что на основе сравнения полученных опытных данных можно составить представление и о влиянии разориентации направления армирования на некоторые характеристики ползучести элементов из армированных пластиков с разными поперечными сечениями, нагруженных одним и тем же уровнем растягивающего относительного напряжения $\sigma/\sigma_{рм} = 0,6$ (σ – приложенное на элемент постоянное растягивающее напряжение, $\sigma_{рм}$ – предел разрушающего напряжения испытываемых элементов).

На рисунках 1 и 2 приведены экспериментально установленные данные, полученные из испытаний на ползучесть при одноосном растяжении упомянутых выше обеих партий стеклопластиковых плоских и трубчатых опытных образцов, соответственно (показаны метками) в сравнении с кривыми, аппроксимирующими эти данные, а в табл.2 представлены некоторые характеристики ползучести этих образцов.

В результате проведенных длительных экспериментов было установлено, что, сразу после приложения растягивающего усилия, как у плоских, так и у трубчатых образцов появляются и во времени t развиваются с начальной высокой (в течение первых суток наблюдения) и дальнейшей затухающей скоростью существенные продольные деформации ползучести (см. рисунки 1 и 2, соответственно). При этом, интенсивность развития во времени деформаций ползучести у рассматриваемых обоих видов образцов (плоские и трубчатые образцы) с углом армирования $\varphi = 6-8^\circ$ оказывается более высокая, чем при угле их армирования $\varphi = 0^\circ$.

Следует отметить, что в течение первых суток после нагружения стеклопластиковые как плоские, так и трубчатые образцы с углом армирования $\varphi = 0^\circ$ накапливают примерно 70% от величины деформаций ползучести, набираемой ими на протяжении 76 сут. нахождения под растягивающей нагрузкой – т.е. к концу проведения экспериментов. Значение этой характеристики, установленное для упомянутых обоих видов опытных образцов с углом армирования $\varphi = 6-8^\circ$, составляет примерно 65 % (см. соответствующие данные табл.2).

Сопоставление данных рисунков 1 и 2 показывает, что величина отношения деформаций ползучести образцов с $\varphi = 6-8^\circ$ и образцов с $\varphi = 0^\circ$, как плоских, так и трубчатых, рассчитанная для одного и того же момента времени наблюдения, практически не зависит от продолжительности нахождения их под воздействием растягивающего усилия и составляет примерно 1,25.

Результаты экспериментального исследования ползучести при одноосном растяжении опытных плоских образцов из однонаправленно армированных стеклопластиков (угол армирования $\varphi = 0^\circ$) на основе различных органических связующих [9]. Согласно данным, приведенным в этих работах, деформации ползучести стеклопластиков в направлении армирующих волокон являются существенно затухающими, а в работе [9] приведены данные о практически полной стабилизации

деформации ползучести в течение 30 мин. после нагружения.

Согласно же данным, приведенным на рисунках 1 и 2 настоящей работы, стабилизация деформаций ползучести при одноосном растяжении как плоских, так и тонкостенных трубчатых образцов из тканевого стеклопластика с углом армирования $\varphi = 0^\circ$ наблюдается через 40-50 сут. после нагружения.

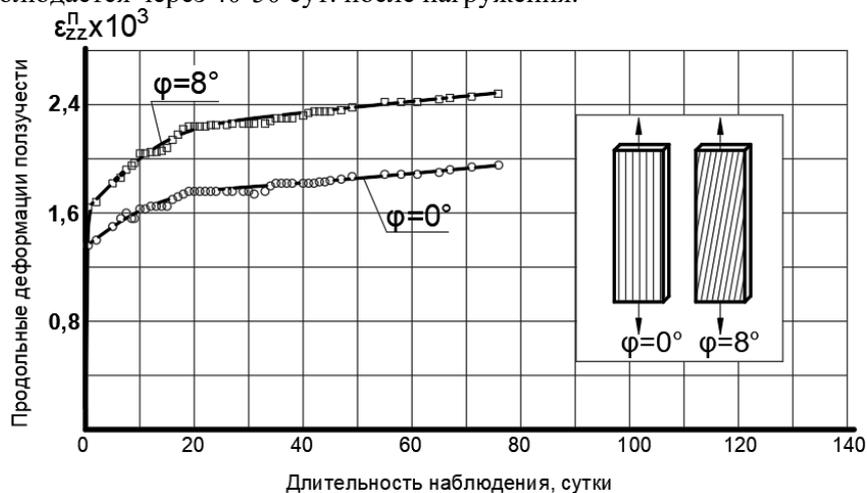


Рис.1. Кривые продольных деформаций ползучести стеклопластиковых плоских образцов с углом армирования φ^0 , подвергнутых одноосному растяжению (иллюстрация автора)

Fig. 1. Curves of longitudinal creep deformations of fiberglass flat samples with a reinforcement angle of φ^0 , subjected to uniaxial tension (illustration by the author)

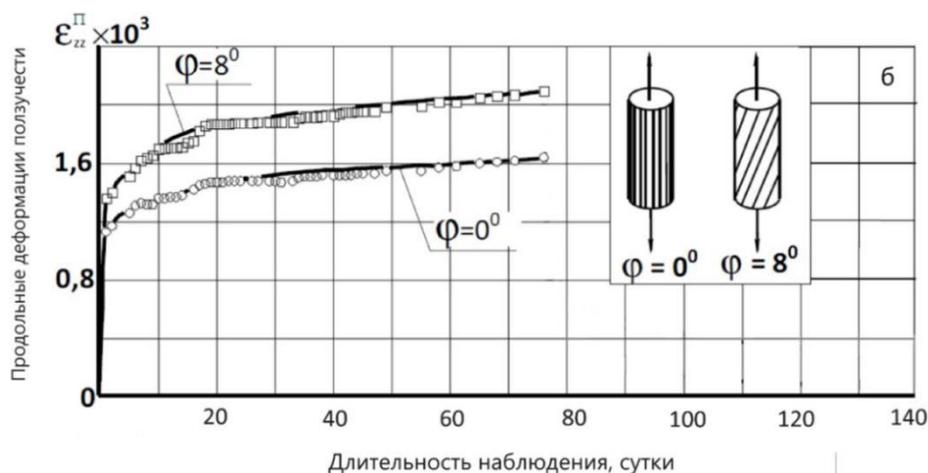


Рис.2. Кривые продольных деформаций ползучести стеклопластиковых трубчатых образцов с углом армирования φ^0 , подвергнутых осевому растяжению (иллюстрация автора)

Fig. 2. Curves of longitudinal creep deformations of fiberglass tubular samples with a reinforcement angle of φ^0 , subjected to axial tension (illustration by the author)

Отмеченная разница в поведении нетканевого и тканевого стеклопластиков при ползучести вдоль рабочих волокон, по всей вероятности, связана со спецификой строения армирующих композит компонентов, о чем может свидетельствовать сравнение данных, приведенных в вышеупомянутой работе [9], с представленными на рисунках 1 и 2. В связи со сказанным следует отметить, что конечное значение деформаций ползучести в направлении вдоль армирующих волокон в случае плоских образцов из нетканевого стеклопластика составляет примерно $0,5 \times 10^{-3}$, а в случае плоских и тонкостенных трубчатых образцов из тканевого стеклопластика в направлении основных нитей вязки армирующей материал ткани $-1,97 \times 10^{-3}$ и $1,64 \times 10^{-3}$, соответственно (см. данные табл.2). Отметим также, что величина длительно действующего растягивающего усилия в случае испытания нетканевых стеклопластиковых плоских образцов соответствует 0,5 [9], а в случае испытания тканевых стеклопластиковых плоских и трубчатых образцов – 0,6 долей от предела их разрушающего напряжения при одноосном растяжении.

Таблица 2

Некоторые характеристики ползучести при растяжении плоских и тонкостенных трубчатых образцов из слоистого стеклопластика

Вид образца	Приложенное на образец напряжение, МПа	Угол армирования образца, φ^0	Относительное удлинение образцов $\times 10^3$ при t (сут.)		Модуль ползучести при растяжении, МПа
			1	76	
плоский	82,8	0	1.36	1.97	420
		6-8	1.63	2.51	330
трубчатый	87,6	0	1.13	1.64	534
		6-8	1.36	2.10	418

С использованием соответствующих данных, представленных в табл.2, были рассчитаны величины модуля ползучести при растяжении E_t плоских и тонкостенных трубчатых образцов из тканевого стеклопластика (эти показатели представлены там же) согласно следующей формуле, фигурирующей в ГОСТ 18197-2014 (ISO899-1):

$$E_t = \frac{\sigma}{\varepsilon_t} = \frac{F \cdot l_0}{A_0 \cdot (\Delta l)_t}$$

где σ – приложенное на опытный образец напряжение, МПа,
 ε_t - относительное удлинение при ползучести при растяжении,
 F - приложенная на образец нагрузка, Н,
 l_0 - первоначальная расчетная длина испытуемого образца, мм,
 A_0 - площадь первоначального поперечного сечения образца, мм²,
 $(\Delta l)_t$ - удлинение испытуемого образца, мм.

Из сравнения данных табл. 2, величина модуля ползучести при растяжении стеклопластиковых плоских образцов с углом армирования $\varphi = 0^\circ$, оказывается больше чем таких же образцов с углом армирования $\varphi = 6-8^\circ$ (табл. 2). Подобное явление имеет место и в случае стеклопластиковых трубчатых образцов. Величина отмеченной разницы при этом практически не зависит от формы поперечного сечения опытного образца и составляет более чем 27%.

Из сопоставления соответствующих данных табл. 2 следует, что:

- величина модуля ползучести при растяжении стеклопластиковых плоских образцов с углом армирования $\varphi = 0^\circ$ более чем на 27% превышает значения аналогичной характеристики, установленного для таких же образцов, но армированных под углом $\varphi = 6-8^\circ$. Такая разница фиксируется и в случае стеклопластиковых трубчатых образцов с неразориентированным ($\varphi = 0^\circ$) и разориентированным ($\varphi = 6-8^\circ$) направлениями армирования,

- при одном и том же угле армирования, значение модуля ползучести при растяжении стеклопластиковых трубчатых образцов оказывается примерно на 27% больше, чем плоских, и величина этой разницы практически инвариантна относительно рассматриваемых здесь углов армирования опытных образцов.

4. Заключение

1. Разориентация направления армирования в пределах $6-8^\circ$, происходящая на этапе изготовления плоских и тонкостенных трубчатых конструктивных элементов из тканевого стеклопластика, спроектированных с учетом соблюдения параллельности направлений растягивающих нагрузок и основных нитей вязки, не может значительно влиять на несущую способность этих элементов. Одновременно, такое отклонение направления армирования от проектного отрицательно проявляется на сопротивляемости деформированию упомянутых элементов как на этапе нагружения, так и на протяжении эксплуатации их в условиях постоянно действующих растягивающих нагрузок. Вследствие этого, истинное напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов из АП с возможной начальной разориентацией армирования может существенным образом отличаться от рассчитанного на основе упоминаемой выше «Идеализированной модели»;

2. При проектировании конструкционных элементов из АП с заранее заданными прочностными характеристиками, во избежание отрицательного влияния разориентации армирования на несущую способность элементов, предлагается вводить в соответствующие расчетные формулы так называемый коэффициент стохастической редукции - отношение величин прочностей со случайными отклонениями в схеме армирования и идеально армированных пакетов.

3. Представляется целесообразным на этапе проектирования, предусмотреть на поверхности конструкционных элементов устройство симметрично расположенных ребер жесткости, ориентированных таким образом, чтобы создавалось максимальное сопротивление деформированию элементов в направлении действия эксплуатационных нагрузок.

Список литературы / References

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: уч. пособие – 4-е испр. и доп. издание / под ред. А.А. Берлина. – СПб., ЦОП «Профессия». 2014. – 592 с. ил.
Polymer composite materials: structure, properties, technology: study guide – 4th corrected and additional edition / edited by A.A. Berlin. – St. Petersburg, TsOP “Profession”. 2014. – 592 p.
2. Adilardi A. and Russo S. Innovative design approach to a GFRP pedestrian bridge: Structural aspects, engineering optimization and maintenance // Proc. of the 5th Int. Conf. on Bridge Maintenance. Safety and Management. Philadelphia, USA. 11-15 July. 2010. P. 2455-2459.
3. Mottram J.T. Does performance-based with FRP components and structures provide and new benefits and challenges // Structural Engineer. 2011. Vol. 89. No. 2. P. 23-27.
4. Khuziakhmetova K., Abdrakhmanova L., Nizamov R. Polymer mixtures based on polyvinyl chloride for the production of construction materials // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 169. – P. 14-21. – DOI 10.1007/978-3-030-80103-8_2. – EDN TDMAAU.
5. Russo S. Experimental and finite element analysis of a very large pultruded FRP structure subjected to free vibration // Compos. Struct. 2012. Vol. 94. No.2. P. 1097-1105.
6. Гарнопольский Ю.М., Розе А.В. Особенности расчета деталей из армированных пластиков. Рига: Зинатне. 1969. С. 276.
Tarnopolski U.M., Rose A.V. Features of calculation of parts from reinforced plastics. Riga: Zinatne. 1969. P. 276.
7. Гарнопольский Ю.М., Розе А.В., Портнов Г.Г. Отрицательные особенности материалов, армированных волокнами // Мех. пол. 1969. №1. С.140-149.
Tarnopolski U.M., Rose A.V., Portnov G.G. Negative features of fiber-reinforced materials. Mech. Pol. 1969. No. 1. P. 140-149.
8. Galeev R. R., Nizamov R. K., Abdrakhmanova L. A. Filling of Epoxy Polymers with Chemically Precipitated Chalk from Chemical Water Treatment Sludge // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 147. – P. 93-97. – DOI 10.1007/978-3-030-68984-1_14. – EDN BSCZVQ.
9. Мартиросян М.М. О кратковременной ползучести стеклопластика СВМ // Мех. пол. 1965. №2. С. 47-54.
Martirosyan M.M. On short-term creep of SVAM fiberglass. Mech. pol. 1965. No. 2. P.47-54.
10. Ермоленко С.Ф., Ермоленко А.Ф. Прочность слоистого пакета со случайными отклонениями в схеме армирования // Мех. Композит. Мат. 1991. №1. С.40-44.
Ermolenko S.F., Ermolenko A.F. Strength of a laminated package with random deviations in the reinforcement plan. Mech. Composite mat. 1991. No. 1. P. 40-44.
11. Карапетян К.А. О прочности и деформативных свойствах стеклопластиковых труб при повторно-статических нарушениях в зависимости от отклонений ориентации армирования // Изв. НАН Армении. Механика. 2001. Т.54. №2. С.70- 79.
Karapetyan K.A. On the strength and deformation properties of fiberglass pipes under repeated static loading depending on deviations in the orientation of the reinforcement. News of NAS of Armenia. Mechanics. 2001. Vol. 54. No.2. P. 70-79.

12. Мартинова А.А., Ятченко О.Ф., Васильев А.В. Технология изготовления тканей. М.: Академия. 2007. С. 304.
Martinova A.A., Jatchenko O.F., Vasilev A.V. Technology of fabric manufacturing. M.: Academy. 2007. P. 304.
13. Мартиросян М.М. Получение прессованных тонкостенных труб из стеклопластиков // Промышленность Армении. 1971. №10. С.56-57.
Martirosyan M.M. Production of pressed thin-walled fiberglass pipes. Industry of Armenia. 1979. No. 10. P. 56-57
14. Карапетян К.А. Зависимость деформирования и разрушения плоских стандартных и тонкостенных трубчатых элементов из слоистого стеклопластика от изначальной разориентации направления армирования // Изв. НАН Армении. Механика. 2023. - Т.76. №4. С. 69-76.
Karapetyan K.A. Dependence of deformation and destruction of flat standard and thin-walled tubular elements made of laminated fiberglass on the initial misalignment of the reinforcement direction. News of NAS of Armenia. Mechanics. 2023. Vol. 76. No. 4. P. 69-76.
15. Карапетян К.А. Влияние начальной разориентации армирования на ползучесть стеклопластиковых труб при одноосном растяжении. Сб. материалов. "Годичная научная конференция Государственного Инженерного Университета Армении". Т.1. Ереван. 2004. С. 276-279.
Karapetyan K.A. Influence of initial misalignment of reinforcement on the creep of fiberglass pipes under uniaxial tension. Collection of materials. "Yearly scientific conference of State Engineering University of Armenia". Vol. 1. Yerevan. 2004. P. 276-279.
16. Карапетян К.А., Валесян С.Ш., Мурадян Н.С. Влияние технологической разориентации армирования на деформационное поведение и сопротивление разрушению стеклопластиковых труб при осевом растяжении и внутреннем гидростатическом давлении // Изв. НАН Армении. Механика. 2018. Т.71. №3. С. 36-43.
Karapetyan K.A., Valesyan S.Sh., Muradyan N.S. The influence of technological misorientation of reinforcement on the deformation behavior and resistance to destruction of fiberglass pipes under axial tension and internal hydrostatic pressure. News of NAS of Armenia. Mechanics. 2018. Vol. 71. No. 3. P. 36-43.

Информация об авторах

Карапетян Коряун Ашотович, доктор технических наук, заведующий лабораторией экспериментальных исследований, Институт Механики Национальной Академии Наук Армении, Ереван, Республика Армения
E-mail: koryun.a.karapetyan@gmail.com

Information about the authors

Koryun A. Karapetyan, doctor of technical sciences, head of the laboratory of experimental research, The Institute of Mechanics of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, Armenia
E-mail: koryun.a.karapetyan@gmail.com