



Polymer composite materials: application in the construction of frame-attached shafts of elevators

Masenene, A.R.^{1*}; Kovalev A.I.¹

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

* akvaarch@rambler.ru

Keywords:

Polymer Composites; Roofing Materials; Glass Fibers; Glass-Fibre Mat; Polyester; Product Forming; Roof; Construction Materials; Lift Towers; Elevator Shafts

Abstract:

The possibility of replacing traditional structural materials with polymer composite in the construction and reconstruction of elevator shafts of frame-attached structural solutions has discussed. The experience of using polymer composite materials and traditional materials (steel, aluminum, wood) is investigated as a comparison of their technical characteristics, advantages and disadvantages are given. The purpose of this article is to justify the use of fiberglass-based composite materials in the manufacture of structures and roofs of frame-mounted elevator shafts by comparing the characteristics of polymer composite materials and traditionally used structural materials. In the course of the study, it was found that polymer composite materials based on fiberglass has clear advantages over traditional materials, it is lighter, stronger, more resistant to atmospheric influences, it conducts heat poorly, does not pass water, and fireproof, which confirms the relevance of the chosen research topic.

1 Введение / Introduction

В статье рассмотрены характеристики полимерных композиционных материалов, позволяющие применять их в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства для реконструкции, ремонта и нового строительства лифтовых шахт каркасно-приставного конструктивного решения.

Таковыми лифтовыми сооружениями оснащено множество исторических зданий в различных городах нашей страны, а также каркасно-приставные конструктивные решения лифтовых шахт используются в новом строительстве. Наибольшее количество описываемых конструкций расположено в крупнейших городах Российской Федерации: Москве и Санкт-Петербурге.

Обзор источников:

В статье [1] сравниваются обычные композитные процессы для изготовления стекловолокна Epoxy-Fiberglass усиленных полимеров с композитной нитью, изготовленной на основе нейлона-fiberglass волокна армирования полимеров. Механические свойства, такие как прочность, модуль упругости, и усталость сравниваются для различных процессов. Влияние параметров на эти механические свойства для процесса изготовления композитной нити. Установлено, что процесс изготовления композитных нитей является очень универсальным, и детали, изготовленные в процессе производства, могут быть использованы в различных элементах.

Статья [2] содержит краткий исторический обзор применения тонкостенных пластиков и композитных полимерных оболочек в архитектуре. Конкретные примеры показывают возможности использования полимерных композитов в качестве общих (основных) элементов возведения промышленных и гражданских объектов. Потенциальные возможности полимерных композитных оболочек в архитектуре иллюстрированы 23 рисунками. Показано, что тонкостенные пластмассовые и композитные полимерные оболочки можно использовать в жилых куполах, сферических радиопередающих ангарах для радаров, больших пролетах на рынках и выставках, высокогорных гостиницах, полупрозрачных полусферических гостиницах для туристов. прозрачные небесные фонари на крышах промышленных зданий и временных летних кафе.

Masenene, A.R.; Kovalev A.I.

Polymer composite materials: application in the construction of frame-attached shafts of elevators; 2020; *AlfaBuild*; Volume 14 Article No 1401. doi: DOI: 10.34910/ALF.14.1

Существует много вариантов выбора крыши в качестве защиты здания от атмосферных воздействий, таких как легкий, прочный, устойчивый к коррозии и технологичный в производстве. Исходя из этих соображений, крыша из армированного стекловолокном полимера (GFRP) соответствует вышеперечисленным требованиям. В статье [3] исследовалось ухудшение физико-механических свойств кровли из стеклопластика, подверженной воздействию внешней среды. Этот кровельный композит был изготовлен с использованием листовой формовочной массы. В исследовании были оценены два типа кровель: крыша из полимерных композиционных материалов, эксплуатируемая в течение 7 лет и новая крыша, которая не подвергалась воздействию. Крыши из полимерных композиционных материалов были разрезаны вручную для подготовки образцов для испытания на твердость и растяжение. Результаты показывают, что крыша из полимерных композиционных материалов, подвергавшаяся воздействию в течение 7 лет, имела ухудшение свойств по сравнению с новой крышей. Эксплуатировавшаяся крыша имела меньшую прочность и твердость по сравнению с новой крышей. Наблюдение выявило, что открытая крыша из полимерных композиционных материалов имела отслоение волокна на поверхности и напротив, на новой поверхности крыши их нет. Разработаны рекомендации по ремонту крыши из стеклопластика, чтобы улучшить ее характеристики и повысить свойства с помощью покрытия.

В работе [4] рассмотрено стекловолокно усиленных полимерно-матричных композитов. Полимерно-матричные композиты, образующие самый большой сегмент композитов, используемых сегодня из-за сочетания их механических, химических свойств и стоимости. Недавно разработанные суперволокна, закаленные в термоустановках и термопластичные полимеры, используемые в качестве матрицы, составляют последнее дополнение к передовым полимерно-матричным композитам. Ожидается, что продвижение материалов будет по-прежнему определяться аэрокосмическими рынками, продолжая приходить к коммерческим и рекреационным секторам. В будущем появятся новые разработки в области волокон, мирангов, новых форм композитов (например, молекулярных композитов, а также в технологии производства. Полиакрилонитрил - базовые углеродные волокна являются основой армирования для современных передовых композитов. Недавняя разработка General Electric Co. с участием кольцеоткрывающей полимеризации термопластика является технологическим прорывом. Технология делает возможным недорогое производство больших сложных термопластичных композитных деталей. Независимые исследования показывают, что затраты на производство составляют от 70 до 80% от стоимости детали. Таким образом, исследования и разработки, направленные на ликвидацию обработки автоклавами и применение композитных материалов для снижения затрат, продолжают во многих компаниях.

Полимерные композиционные материалы из стекловолокна и полиэфирной смолы при испытании, проведенных в работах [5-7] на статические, динамические и длительные нагрузки показали следующие характеристики: кратковременная прочность на растяжение 1650 Мпа; модуль упругости 51000 Мпа; удлинение при разрыве 3,3 %; долговременная прочность 1100 МПа; потери напряжения от релаксации 3,2%; перепад напряжений при $2 \cdot 10^6$ циклах нагружений 55 Мпа.

При испытаниях стальной арматуры класса А-III (А400С), полученных в статье [8], определили следующие ее характеристики: предел прочности на растяжение 390 Мпа; удлинение при разрыве 25 %.

Удельная плотность стеклопластика (2000 кг/м³) почти в четыре раза меньше, чем стали (7800 кг/м³). Это существенно снижает общую массу изделия, следовательно, применение деталей конструкций и крыш из композитного материала выгодно по нескольким показателям: транспортировка, разгрузка, подъем на высоту, а также монтаж.

Испытания, описанные в работе [9], показали, что стеклопластиковая арматура имеет стойкость в кислой среде более чем в 10 раз, а в растворах солей более чем в 5 раз выше стойкости стальной арматуры. Наиболее агрессивной для стеклопластика является щелочная среда.

Коэффициент теплопроводности нержавеющей стали 14,4 Вт/(м*К), композитов 0,30 Вт/(м*К) [10].

В статье [11] изучается воздействия окружающей среды на полимерные композиционные материалы на структурном уровне. Было установлено, что стеклопластики устойчивы главным образом к влиянию повышенной температуры, влажности, ультрафиолета и погружению в воду.

В обзорах [12-13] рассматриваются термические, водопоглощающие и вибрационные свойства. Доказано, что композиты обладают высокими коррозионной, химостойкостью и стойкостью к ультрафиолетовому излучению.

Значительная часть ущерба зданиям в результате ураганов приходится на слабые связи между крышей и стенами [14]. В исследовании [15] был изучен инновационный способ крепления крыши к стенам для деревянных каркасных конструкций с использованием высокопрочных композитов на основе стеклополимеров. Были разработаны и протестированы несколько видов соединений на уровне компонентов при подъемной и боковой нагрузке. Были также проведены контрольные испытания для оценки грузоподъемности типичного металлического соединения для облегчения сравнения его результатов с результатами недавно разработанного крепления. Система связи крепления, описанная в данном исследовании, предлагает простую в применении, и жизнеспособную альтернативу существующим металлическим зажимам для новых зданий и существующих конструкций.

В современном понимании, композиционный материал - это смесь, состоящая из двух или более разнородных материалов (металлов, углерода, керамики, полимеров), между компонентами обязательно должна быть граница раздела. Содержание одного из компонентов должно быть не менее 5%.

Связующим компонентом в композиционных материалах является матрица, которая составляет сплошную фазу с распространенными в ней другими компонентами-наполнителями.

Композиционные материалы классифицируются по материалу матрицы: полимеры, металлы, керамика, углерод. В свою очередь, полимерные композиционные материалы подразделяются на армированные термопласты и армированные реактопласты, а композиционные материалы с углеродной матрицей на углерод-углеродные и углеродные, наполненные или армированные другими видами волокон [16].

По типу используемого волокна: полимерные композиционные материалы делятся на: углекомпозиты, которые создаются на основе углеродных волокон, стеклокомпозиты – на основе стеклянных волокон, биокомпозиты (органопластики) – на основе натуральных волокон, базальтопластики – на основе волокон базальта, борокомпозиты, арамидокомпозиты и др. Наиболее распространены стеклянные волокна в качестве наполнителя композиционного материала. Стекло – устойчивый материал который почти не разлагается и мало подвержен химической коррозии.

Полимерные композиционные материалы делятся на непрерывно армированные (нити, жгуты, ленты, ткани, объемноплетеные формы), дискретно армированные (рубленные или штапельные волокна) и наполненные дисперсными частицами. Наибольшее распространение получили непрерывно армированные полимерные композиционные материалы, так как при создании сложных форм они обеспечивают максимальную прочность [17].

Стеклокомпозиты обладают теплопроводностью подобной древесине, не гниют, устойчивы к воздействию влаги и солнечных лучей, примерно на 30% легче алюминия, по прочности на разрыв не уступают легированной стали [18].

Также, полимерные композиционные материалы на основе стеклопластика имеют и уникальные свойства: обладают радиопрозрачностью, не проводят электрический ток, не намагничиваются, огнестойки (самозатухают при использовании специальных смол), не выделяют вредных и токсичных веществ, экологичны и полностью перерабатываются.

Полимерные композиционные материалы устойчивы к атмосферным воздействиям. Период безремонтной эксплуатации изделий из полимерных композиционных материалов составляет порядка 20 лет, а полный срок службы более 50 лет. Что существенно сокращает затраты на замену или ремонт конструкций из полимерных композиционных материалов находящихся под прямым воздействием климатических факторов, например, кровель и открытых элементов каркаса.

Особенностью полимерных композиционных материалов также является возможность свободного формообразования, что позволяет изготавливать детали практически любой формы и конфигурации, тем самым расширяется сфера применения материала.

К недостаткам относится высокая начальная стоимость изделия новой конфигурации, но при условии повторяемости элементов появляется экономия на изготовлении оснастки, что является самым дорогостоящим в процессе изготовления изделий из полимерных композиционных материалов.

Процесс изготовления деталей из полимерных композиционных материалов можно разделить на три этапа.

На первом этапе производится разработка трехмерной мастер-модели и разбиение ее на фрагменты. В зависимости от геометрической формы детали, для ее трехмерной обработки может дополнительно потребоваться использование нескольких программ для фрезерования заготовок на трех- или пятикоординатных фрезерных станках с ЧПУ [19].

Для изготовления мастер-моделей используются плиты модифицированной фанеры (плотностью около 600 кг/м³) или блоки из пенополиуретана высокой плотности (300-400 кг/м³).

Ко второму этапу относится изготовление матрицы, которая представляет собой «негативный» слепок с прототипа, называемого мастер-моделью.

Перед формованием поверхность мастер-модели покрывается антиадгезивом, чтобы исключить приклеивание матрицы к поверхности прототипа. После сушки наносится матричный гелькоут, который в процессе формования переходит на изделие, образуя наружный слой. Следующий этап - формование слоев из стекломата и полиэфирной смолы, которое производится с выдержкой 24 часа через каждые 3-4 мм. Необходимое число слоев набирается до достижения расчетной толщины. Для окончания усадочных явлений матрица выдерживается на мастер-модели в течение двух недель. Далее производится очистка смесью растворителей, шпаклевка (порозаполнение) поверхности, нанесение полупостоянного антиадгезива, сушка.

Третий этап включает в себя формование методом ручной укладки композиции из армирующего материала и смолы с уплотнением при помощи валиков для удаления пузырьков воздуха. Преимуществами данного способа формования являются: универсальность, возможность получения изделий сложной формы и большого размера [20].

Объектом исследования являются конструктивные элементы каркасно-приставных лифтовых шахт из полимерных композиционных материалов на основе стеклопластика, а именно, элементы каркаса, крыши, лифтовые тяги.

Предмет исследования – физико-механические свойства полимерные композиционные материалы на основе стеклопластика.

Целью настоящей статьи является обоснование применения полимерных композиционных материалов на основе стеклопластика при изготовлении конструкций и крыш каркасно-приставных лифтовых шахт.

В ходе исследования были решены следующие задачи: изучены нормативные источники, а также научная литература, в том числе зарубежная, посвященная применению полимерных композиционных материалов в современном строительстве; проведен сравнительный анализ физико-механических свойств стеклопластика и стали, алюминия; определены достоинства и недостатки каждого материала; сформулированы преимущества применения полимерных композиционных материалов в изготовлении конструкций и крыш каркасно-приставных лифтовых шахт.

2 Методы / Methods

Исследование проводилось методом сравнения физико-механических свойств полимерных композиционных материалов и традиционных материалов, используемых для изготовления каркасов и кровель для каркасно-приставных шахт лифтов.

3 Results and discussion

К конструкционным материалам для изготовления элементов каркаса и кровель каркасно-приставных лифтовых шахт предъявляются следующие требования: водонепроницаемость, плотность, морозостойкость, химическая стойкость, теплоизолирующие свойства, высокая прочность при возможно меньшей собственной массе, низкая звукопроводность, износостойкость, коррозионная стойкость, стойкость к атмосферным воздействиям (влажность, солнечное излучение, перепад температур).

Кроме того, очень важными требованиями являются технологичность производства, простота монтажа и длительный срок службы.

Традиционно используемые материалы для изготовления каркасов являются сталь, алюминий и древесина (см.рис.1, 2).



Рис. 1. Каркасно-приставная лифтовая шахта из деревянных элементов.



Рис. 2. Каркасно-приставная лифтовая шахта из стальных элементов.

Опыт строительства и эксплуатации каркасно-приставных лифтовых шахт в Санкт-Петербурге показал, что традиционные материалы требуют постоянного обслуживания для продления срока службы элементов конструкций. Многие каркасно-приставные шахты лифтов находятся в неудовлетворительном состоянии (см.рис.3, 4).



Рис. 3. Каркасно-приставная лифтовая шахта. Внутреннее состояние.



Рис. 4. Каркасно-приставная лифтовая шахта. Состояние оборудования.

ПКМ, по своим характеристикам удовлетворяют вышеуказанным требованиям, что делает этот материал привлекательным для использования в ремонте и новом строительстве каркасно-приставных лифтовых шахт.

Например, была разработана крыша над приставной лифтовой шахтой, состоящая из листового утеплителя - пенополиуретана плотностью 100 кг/м³, толщиной 50 мм и оболочки из стеклопластика толщиной 3,5 мм. Площадь лицевой поверхности кровли 5,68 м², вес 50,1 кг (рис. 5, 6) [21].

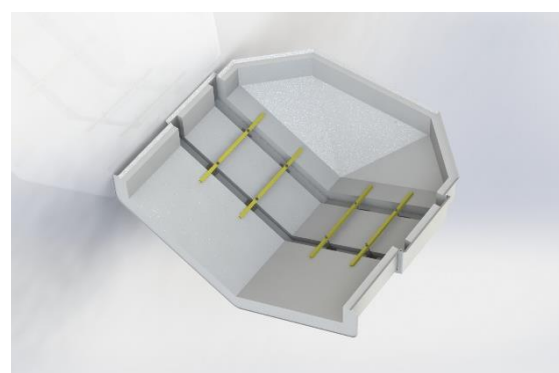
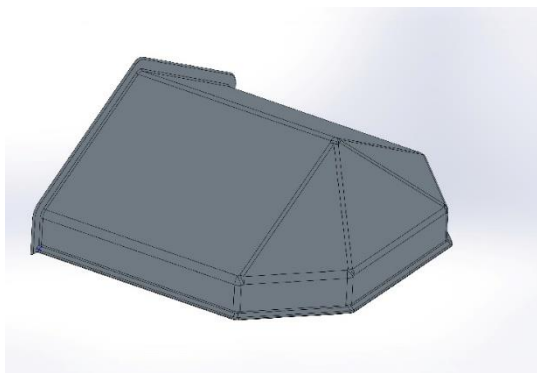


Рис. 5. 3D модель

Рис. 6. 3D модель сборки

В июне 2019 года первая такая крыша была установлена над шахтой приставного лифта из огнестойкого стеклопластика по адресу Санкт-Петербург, ул. Караванная, 24 (рис. 7, 8) [21].



Рис. 7. Каркасно-приставная лифтовая шахта с крышей из полимерных композиционных материалов. Внутреннее состояние.



Рис. 8. Каркасно-приставная лифтовая шахта с крышей из полимерных композиционных материалов. Состояние оборудования.

Опыт эксплуатации данных крыш показал лучшие характеристики сохранности внутреннего оборудования и элементов конструктивного каркаса, по сравнению с шахтами, покрытыми металлической кровлей.

Немаловажной характеристикой полимерных композиционных материалов являются соответствие требованиям пожарной безопасности. Сертификат безопасности подтверждает следующие характеристики материала стеклопластика с полиэфирной матрицей: слабо горючий (Г1), умеренно воспламеняющийся (В2), умеренная дымообразующая способность (Д2), умеренно опасный по токсичности продуктов горения (Т2), медленно распространяющий пламя по поверхности.

В отличие от международного опыта применения конструктивных элементов из полимерных композиционных материалов в каркасном строительстве (рис.9), в нашей стране их использование не распространено.

Преимущество уникальных технических характеристик полимерных композиционных материалов в сравнении с традиционными конструктивными материалами подтверждают актуальность внедрения полимерных композиционных материалов в сферу жилищно-коммунального хозяйства и строительства в части ремонта и нового строительства лифтовых шахт каркасно-приставного конструктивного решения.



Рис. 9. Мировой рынок композитов по объему на 2016 г., млн.т.

Сравнительный анализ технических характеристик полимерных композиционных материалов и традиционных конструкционных материалов приведен в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение характеристик стеклопластика, металлов и древесины [21]

№ п/п	Характеристика	Стеклопластик на основе стеклянных волокон, связанных полиэфирной смолой.	Сталь	Алюминий	Древесина (сосна)
1	Плотность, кг/м ³	2000	7800	2700	510
2	Предел прочности при растяжении, МПа	1800	500	100	46
3	Модуль упругости, МПа	75000	210000	70000	12100
4	Относительное удлинение, %	2,2	25	30	10
5	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,37	48	196	0,14
6	Коррозионная стойкость	Не корродирует	Корродирует	Корродирует	Не корродирует
7	Электропроводность	Диэлектрик	Проводит ток	Проводит ток	Проводит ток

4 Заключение / Conclusions

Данные, полученные в ходе произведенного в статье сравнительного анализа технических характеристик полимерных композиционных материалов и традиционных материалов, а также опыта использования полимерных композиционных материалов в каркасно-приставных шахтах

Masene, A.R.; Kovalev A.I.

Polymer composite materials: application in the construction of frame-attached shafts of elevators; 2020; *AlfaBuild*; Volume 14 Article No 1401. doi: DOI: 10.34910/ALF.14.1

лифтов позволяют сделать следующие выводы: полимерные композиционные материалы имеют преимущество в стойкости к атмосферным воздействиям, коррозии, весу, безремонтному сроку эксплуатации, технологичности монтажа. Достаточная прочность полимерных композиционных материалов позволяет выдерживать ветровые и снеговые нагрузки, противостоять деформации. Таким образом, полученные результаты подтверждают возможность применения полимерных композиционных материалов на основе стеклопластика в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства, в том числе для ремонта и нового строительства лифтовых шахт каркасно-приставного конструктивного решения.

5 Acknowledgements

This research work was supported by the Academic Excellence Project 5-100 proposed by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation.

References

1. Agarwal, K., Kuchipudi, S.K., Girard, B., Houser, M. Mechanical properties of fiber reinforced polymer composites: A comparative study of conventional and additive manufacturing methods. *Journal of Composite Materials*. 2018. DOI:10.1177/0021998318762297.
2. Olenkov, V.D., Pogorelov, S.N., Kolmogorova, A.O. Innovations and traditions: Application of fiberglass for revival of dome roofs of church monuments of architecture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 451(1). DOI:10.1088/1757-899X/451/1/012064.
3. Zainudin, M., Diharjo, K., Kaavessina, M., Setyanto, D. The properties degradation of exposed GFRP roof. *AIP Conference Proceedings*. 2018. 1931(Nur The properties degradation of exposed GFRP roof). DOI:10.1063/1.5024122.
4. Stefanescu, E.A., Tan, X., Lin, Z., Bowler, N., Kessler, M.R. Multifunctional fiberglass-reinforced PMMA-BaTiO₃ structural/dielectric composites. *Polymer*. 2011. DOI:10.1016/j.polymer.2011.02.050.
5. Al-Shiblawi K.A., Ya.V.P. Untitled. *Innovation in science*. 2017. 67 (Comparative analysis of the operational properties of composite plastic and metal reinforcement). Pp. 78-81
6. Blaznov A.N., Volkov Yu.P., Lugovoi A.N., S.V.F. (On the chemical resistance of fiberglass reinforcement) 2003.
7. Kolosova A.S. Modern polymer composite materials and their application / Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. // *International Journal of Applied and Basic Research*. - 2018. - No. 5-1. - S. 245-256.
8. Teplova, Zh.S., Kiski, S.S. Stekloplastikovaya armatura dlya armirovaniya betonnykh konstruksiy [Fiberglass reinforcement for reinforcing concrete structures]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. 9 (24). Pp. 49–70. (rus)
9. Fang, H., Bai, Y., Liu, W., Qi, Y., Wang, J. Connections and structural applications of fibre reinforced polymer composites for civil infrastructure in aggressive environments. *Composites Part B: Engineering*. 2019. 164(Connections and structural applications of fibre reinforced polymer composites for civil infrastructure in aggressive environments). Pp. 129–143. DOI:10.1016/j.compositesb.2018.11.047.
10. Sathishkumar, T.P., Naveen, J., Satheeshkumar, S. Hybrid fiber reinforced polymer composites - A review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2014. 33(5). Pp. 454–471. DOI:10.1177/0731684413516393.
11. Sathishkumar T.P. *Glass fiber composite materials. Lightweight and Sustainable Materials for Automotive Applications* CRC Press, 2017. (Glass fiber composite materials). Pp.239–276.
12. C Bank, L.C. Progressive failure and ductility of FRP composites for construction: Review. 17(3)06-2013.
13. Van Der Woude, J.H.A., Lawton, E.L. *Composite design and engineering. Fiberglass and Glass Technology: Energy-Friendly Compositions and Applications*. Springer US, 2010. Pp. 125–173.
14. Canbek, C., Mirmiran, A., Chowdhury, A.G., Suksawang, N. Development of fiber-reinforced polymer roof-to-wall connection. *Journal of Composites for Construction*. 2011. DOI:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000194.
15. Doerer, R.P., Scott, T.E., Souders, S. Structural headliners-their development, acoustical and physical performance, modular capabilities and economics. *SAE Technical Papers*. 1990. (Structural headliners-their development, acoustical and physical performance, modular capabilities and economics). DOI:10.4271/900826.
16. Sokolskaya, M.K., Kolosova, A.S., Vitkalova, I.A., Torlova, A.S., Pikalov, Ye.S. Svyazuyushchiye dlya polucheniya sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov [Binders for the production of modern polymer composite materials]. *Fundamentalnyye issledovaniya*. 2017. 10(2). Pp. 290–295. (rus)

17. Mamalis, A.G., Manolakos, D.E., Demosthenous, G.A., Ioannidis, M.B. Analytical and experimental approach to damage and residual strength of fibreglass composite automotive frame rails during manufacturing. *Composite Structures*. 1995. 32(1–4). Pp. 325–330. DOI:10.1016/0263-8223(95)00085-2.
18. Kablov, Ye.N. Kompozity: segodnya i zavtra [Composites: today and tomorrow]. *Metally Yevrazii*. 2015. 1. Pp.36–39. (rus)
19. Vasyutkin, S. F. Nastupil vek kompozitov [The age of composites has come]. *Aerokosmicheskiy kuryer*. 2006. 6. Pp.52–53. (rus)
20. Vasyutkin, S. F. Metodika razrabotki i izgotovleniya krupnogabaritnykh master-modeley dlya posleduyushchego izgotovleniya kompozitnykh matrits [Methodology for the development and manufacture of large-sized master models for the subsequent manufacture of composite matrices]. *Kompozity XXI vek*. 2011. Pp. 40–43. (rus)
21. Shakhova, M., Vasyutkin, E. Glass-reinforced plastic roof for mounted elevator shafts. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2020.87. DOI: 10.18720/CUBS.87.1