

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рысокович Андрей Сергеевич

магистрант Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства СПб ПУ

г. Санкт-Петербург (Россия)

e-mail: fishkin2010@yandex.ru

Композитные (композиционные) материалы – это искусственно созданные неоднородные сплошные материалы, состоящие из двух и более компонентов пластичной основы, армированные наполнителями с различными физическими и химическими свойствами [1-4].

Композитный материал состоит из матрицы и армирующего вещества (наполнителя). Матрица композитного материала может быть металлической, керамической, углеродной и т. д. Материал матрицы окружает и фиксирует армирующий материал, придает изделию форму, обеспечивает монолитность материала, передачу и распределение напряжений в наполнителе и определяет такие характеристики, как огнестойкость, химическую стойкость, а также теплопроводность и влагопроницаемость [3].

Армирующее вещество передает свои механические и физические свойства изделию, таким образом усиливает свойства матрицы, а также воспринимает большую часть нагрузки, приходящейся на композитный материал. По структуре армирующего вещества композитные материалы разделяют на волокнистые (армированы волокнами и нитевидными кристаллами), слоистые (армированы пленками, пластинками, слоистыми наполнителями), дисперсноармированные, или дисперсно-упрочненные (с наполнителем в виде тонкодисперсных частиц) [4].

Технические характеристики композитных материалов определяются соотношением свойств матрицы и армирующих элементов, а также прочностью связей между ними. Кроме этого технические характеристики композитных материалов зависят от правильного выбора исходных компонентов и технологии их совмещения, призванной обеспечить прочную связь между компонентами при сохранении их первоначальных характеристик. В результате соединения армирующих элементов и матрицы образуется комплекс свойств композита, не только отражающий исходные характеристики его компонентов, но и включающий свойства, которыми по отдельности данные компоненты не обладают. В частности, наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает трещиностойкость материала, и в композитах, в отличие от металлов, повышение статической прочности приводит не к снижению, а, как правило, к повышению характеристик вязкости разрушения [5].

Ниже приведены преимущества и недостатки большинства композитных материалов.

Преимущества композитных материалов [1-6]:

- высокая прочность (композитные материалы имеют высокую прочность на растяжение и сжатие, а также высокую ударную прочность, высокую прочность на срез и на разрыв, и по своей прочности они в большинстве случаев превосходят такие материалы, как сталь и бетон);
- малый удельный вес по сравнению с «традиционными» материалами (сталь, бетон), низкая газопроницаемость и паропроницаемость;
- практически не подвержены воздействию окружающей среды (атмосферные осадки, влажность, перепады температур и т. д.);
- высокая износостойкость и долговечность (срок эксплуатации композитных материалов может составлять более 50 лет);

- не подвержены коррозии, гниению, воздействию грибов и плесни, а также насекомых;
- стойки к воздействию различных химических реагентов и веществ;
- пожаробезопасность (композитные материалы способны выдерживать температуры до +1200°C; большинство композитных материалов являются не горючими);

Недостатки композитных материалов [1-6];

- высокая себестоимость производства из-за высокой накуоемкости и технологичности и как следствие высокая конечная стоимость;
- низкая ремонтпригодность (для некоторых типов);
- анизотропия свойств (для некоторых типов).

Ниже в табл. 1 и табл. 2. приведены технические характеристики композитных и «традиционных» материалов.

Таблица 1

Технические характеристики композитных материалов [6]

Матрица	Армирующий наполнитель	Плотность, г/см ³	Предел прочности при растяжении, ГПа	Модуль упругости, ГПа
Полимерные				
Эпоксидная	Стекловолокно	1,9 – 2,2	1,2 – 2,5	50 – 68
	Органическое (арамидное) волокно	1,3 – 1,4	1,7 – 2,5	75 – 90
	Углеродное волокно	1,4 – 1,5	0,8 – 1,5	120 – 220
	Борное волокно	2,0 – 2,1	1,0 – 1,7	220
Металлические				
Алюминиевая	Борное волокно	2,6	1,0 – 1,5	220 – 250
	Углеродное волокно	2,3	0,8 – 1,0	200 – 220
Магниева	Борное волокно	2,0	0,7 – 1,0	200 – 220
	Углеродное волокно	1,8	0,6 – 0,8	180 – 220
Никелевая	Вольфрамовая проволока	12,5	0,8	265
	Молибденовая проволока	9,3	0,7	235
Углеродные				
Углеродная	Углеродное волокно	1,5 – 1,8	0,35 – 1,0*	120 – 220

*Примечание. Указана прочность при изгибе.

Таблица 2

Технические характеристики строительных материалов [4, 5]

Материал	Марка/класс	Плотность, г/см ³	Предел прочности при растяжении, ГПа	Модуль упругости, ГПа
Сталь	Высокоуглеродистая (сталь 45)	7,8 – 7,9	0,2 – 0,23	205
Алюминий	-----	2,7 – 2,8	0,4 – 0,19	70
Бетон	Тяжелый	2,4 – 2,5	0,0009 – 0,018	28
Кирпич	Силикатный (М300)	1,8 – 2,0	0,004*	25 – 27

*Примечание. Указана средняя прочность при изгибе.

Из табл. 1 и табл. 2 видно, что композитные материалы значительно превосходят «традиционные» по своим техническим характеристикам.

В настоящее время композитные материалы используются в различных отраслях народного хозяйства. Следует отметить, что доля России от общего использования композитных материалов по разным оценкам составляет порядка 1,5 – 2,0%. Вместе с тем согласно прогнозам, доля использования композитных материалов в России к 2030 г. возрастет и составит порядка 4 – 5%.

Применение композитных материалов в строительстве началось в 1960-х годах. В настоящее время они нашли применение в различных областях строительства в качестве конструкционных, теплоизоляционных и отделочных материалов. Следует отметить, что более 30% (порядка 4 млн. т.) от всего мирового объема производимых композитных материалов используется в строительной отрасли. Композитные материалы применяются при строительстве зданий и сооружений различного назначения, объектов транспортной инфраструктуры, а также в жилищно-коммунальном хозяйстве. В настоящее время в строительной отрасли используется большое количество различных композитных материалов. Среди них можно выделить следующие наиболее распространенные из них [7-9]:

- полимерные бетоны (бетоны у которых в качестве матрицы используется полимерный материал);
- стеклопластики (в качестве матрицы для их изготовления применяют особые синтетические смолы или термопластичные виды полимеров, а в качестве армирующего вещества используются стеклянные волокна);
- углепластики (представляют собой композитные материалы изготовленные на основе соединения углеродных волокон и различных термореактивных полимеров, чаще эпоксидных смол);
- текстолиты (представляют собой слоистые материалы, армированные тканями материалами на основе различных волокон).
- органопластические композиты (в качестве матрицы используются различные виды смол, а в качестве армирующего вещества – синтетические волокна или природные материалы; древесные композитные материалы относятся к органопластикам (более подробно рассмотрены в п. 1.2.1).

К наиболее распространенным и часто используемым композитным строительным материалам можно отнести композитную арматуру, композитные панели, плиты и балки, а также тканые композитные материалы. Следует отметить, что области применения композитных материалов в строительстве очень обширны, в частности они используются:

- для изготовления несущих и ограждающих строительных конструкций, включая укрупненные;
- для усиления строительных конструкций;
- для внешней и внутренней отделки зданий и сооружений;
- для производства элементов инженерных систем;
- для изготовления строительного инвентаря;
- для изготовления элементов благоустройства территории.

Ниже кратко рассмотрены перечисленные выше области использования композитных строительных материалов.

Изготовление несущих и ограждающих строительных конструкций

Композитные материалы в настоящее время применяются для производства ограждающих строительных конструкций различных зданий и сооружений. На рис. 1 показаны строительные конструкции из композитных материалов, используемые в строительстве.

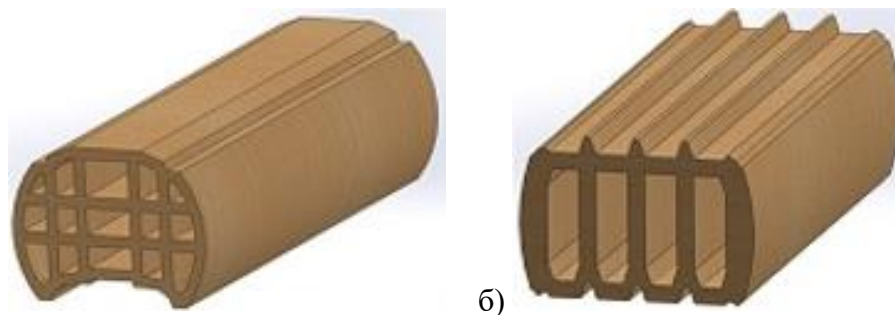


Рис. 1. Строительные конструкции из композитных материалов: а) бревно; б) брус

В работе [10] отмечено, что в настоящее время начинают внедряться комплексные наборы универсальных элементов и строительных конструкций, выполненных из композитных материалов, и обеспечивающих возведение объекта «под ключ», начиная от фундаментов и заканчивая кровлей здания. На рис. 2 показан набор элементов строительных конструкций.



Рис. 2. Отдельные элементы универсального набора: а) фундаментный блок; б) стеновой блок; в) балка перекрытия

Важно отметить, что сборка здания из данных конструкций осуществляется «сухим» способом при помощи специально разработанных для этой цели фиксаторов. Многочисленные полости в композитных строительных конструкциях, показанных на представленных выше рисунках могут быть заполнены утеплителем, тем самым улучшая их теплотехнические характеристики [11, 12].

Композитные материалы в настоящее время также используются для производства укрупненных строительных конструкций: плит перекрытий, стеновых панелей, элементов балочных перекрытий и т. д. (рис. 3).

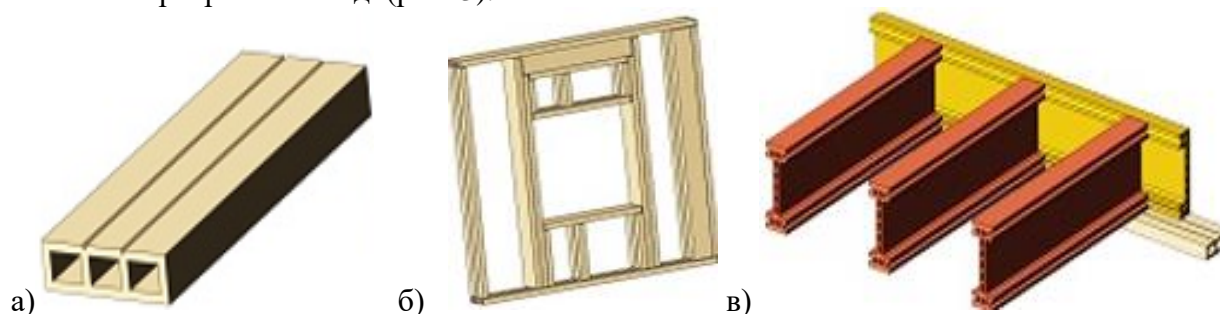


Рис. 3. Укрупненные строительные конструкции из композитных материалов: а) плита перекрытия; б) стеновая панель; в) элемент балочного перекрытия

Усиление строительных конструкций

Нужно отметить, что первые проекты усиления строительных конструкций композитными материалами в России были осуществлены в конце 1990-х годов. В настоящее время композитные материалы активно применяются для усиления строительных конструкций: внешнее и внутреннее армирование. Для внешнего армирования строительных конструкций используются тканые композитные материалы (углеродные ленты) [13, 14].

В работах [13, 14] отмечено, что внешнее армирование эффективно, для усиления строительных конструкций, как существующих, так и строящихся зданий, и сооружений. Система внешнего армирования позволяет минимизировать ошибки проектирования или производства строительных работ, увеличить эксплуатационные характеристики несущих конструкций. В работе [14] отмечено, что использование композитных материалов ведет к сокращению временных и трудовых затрат. Также отпадает необходимость в применении строительной техники и можно проводить работы без перерыва в эксплуатации зданий и сооружений.

Суть усиления с помощью композитных материалов заключается в полном или частичном нанесении слоев материала на кирпичную кладку, перекрытия, колонны и т. д., который образуя внешний слой, частично или полностью защищающий строительные конструкции от воздействия окружающей среды и фактически выполняющий функцию арматуры воспринимая нагрузки, приходящиеся на строительные конструкции. На рис. 4 показано внешнее армирование строительных конструкций ткаными композитными материалами.

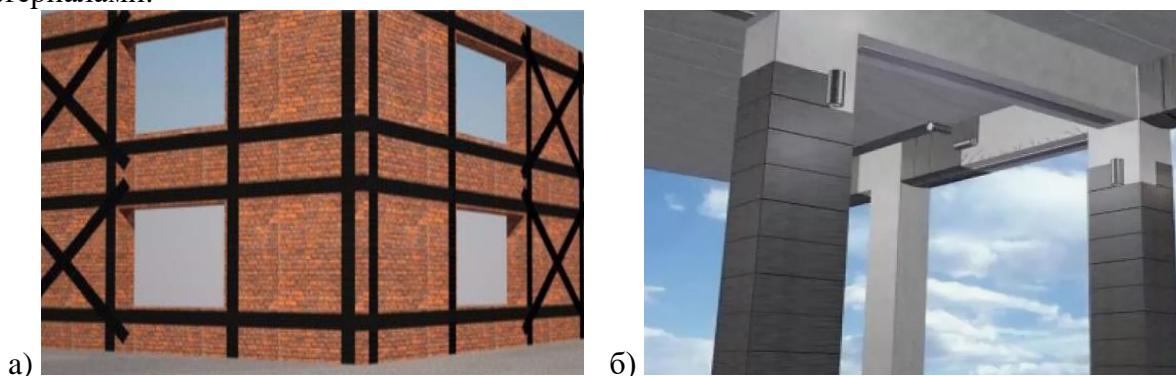


Рис. 4. Внешнее армирование строительных конструкций ткаными композитными материалами: а) армирование кирпичных стен; б) армирование колонн

Для внутреннего армирования строительных конструкций используются различные виды арматуры и пластин, а также тканые композитные материалы [15]. На рис. 5 показано армирование строительных конструкций композитной арматурой.

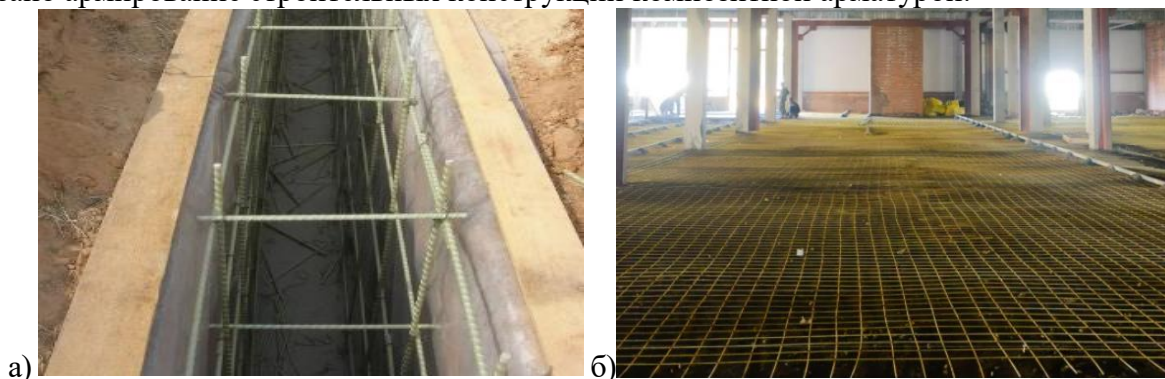


Рис. 5. Армирование строительных конструкций композитной арматурой: а) армирование ленточного фундамента; б) армирование плиты перекрытия

Внешняя и внутренняя отделка зданий и сооружений

Композитные материалы также используются для внешней и внутренней отделки зданий и сооружений. Использование композитных материалов для внешней и внутренней отделки позволяет защитить строительные конструкции от воздействия окружающей среды и реализовывать различные архитектурные и дизайнерские решения.

Нужно отметить, что в настоящее время для внешней и внутренней отделки применяют широкую «линейку» различных композитных материалов, отличающихся, как по типу, так и по форме [16, 17]. На рис. 6. показано использование композитных материалов для внешней и внутренней отделки зданий.



а)



б)

Рис. 6. Использование композитных материалов для внешней и внутренней отделки зданий: а) внешняя отделка (панели вентфасада); б) внутренняя отделка (стеновые панели)

Изготовление элементов инженерных систем

Композитные материалы активно используются для изготовления элементов различных инженерных систем: теплоснабжения, водоснабжения, водоотведения, вентиляции и др. Применение композитных материалов позволяет увеличить срок эксплуатации инженерных систем, а также повысить их надежность [18]. На рис. 7 показаны элементы инженерных систем, выполненные из композитных материалов.



а)

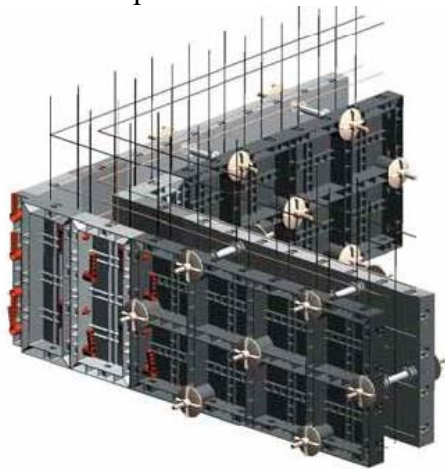


б)

Рис. 7. Использование композитных материалов для производства элементов инженерных систем: а) трубы для системы водоснабжения; б) запорная арматура

Изготовление строительного инвентаря

Композитные материалы используются для изготовления различного строительного инвентаря, в частности композитной опалубки [19, 20]. На рис. 8 показана опалубка из композитных материалов.



а)



б)

Рис. 8. Опалубка из композитных материалов: а) для бетонирования стен; б) для бетонирования перекрытий

Изготовление элементов благоустройства территории

В настоящее время композитные материалы активно используются для изготовления элементов благоустройства территории. Следует отметить, что в основном для этого используются изделия, выполненные из стеклопластика и древесно-полимерных композитов (ДПК) [21]. На рис. 9 показано использование композитных материалов для изготовления малых архитектурных форм (МАФ) и защитных ограждений.

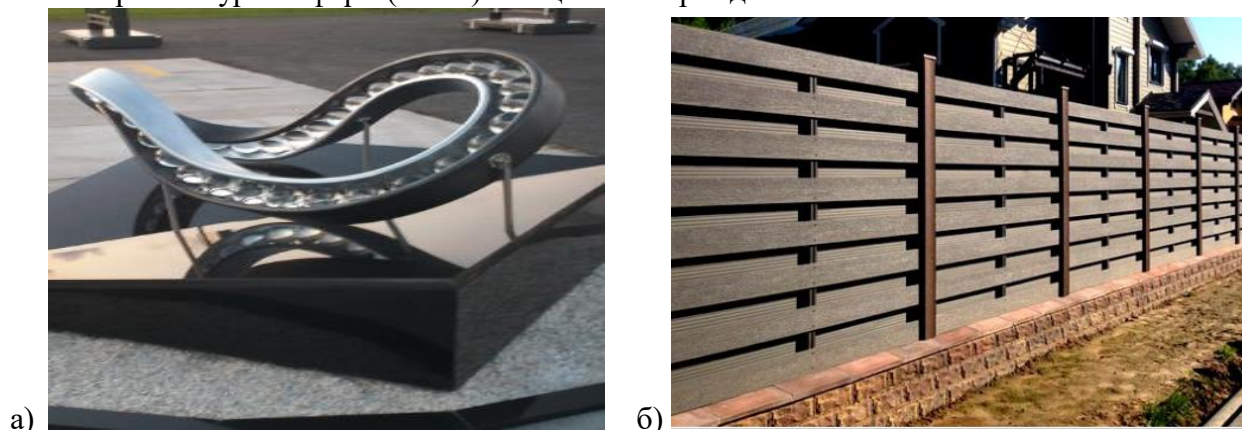


Рис. 9. Элементы благоустройства из композитных материалов: а) МАФ из стеклопластика; б) защитное ограждение из ДПК

Необходимо отметить, что в настоящее время в строительной отрасли России применение композитных материалов до сих пор находится на низком уровне. По разным оценкам, потребление полимерных композитов в отечественной строительной отрасли составляет от 0,5 до 2,0% от общемирового объема их использования в строительной индустрии.

Следует отметить, что применение композитных материалов в строительной отрасли осложняется тем, что в настоящее время практически отсутствует соответствующая нормативная база, регламентирующая их расчёты и использование.

Кроме этого, внедрение композитных материалов затрудняется тем, что многие специалисты строительной отрасли зачастую просто не обладают достоверной информацией о технических характеристиках композитных материалов.

К сдерживающим факторам применения композитных материалов в России также можно отнести:

- необходимость модернизации предприятий-производителей строительных материалов;
- отсутствие оборудования отечественного производства для их производства;
- необходимость обучения или переподготовки специалистов строительной отрасли, занимающихся, как производством, так и использованием композитных материалов;
- высокую наукоемкость и технологичность производства композитных материалов и как следствие их высокую себестоимость, а следовательно, и конечную стоимость.

В заключение необходимо отметить, что в настоящее время в мире композитные материалы нашли широкое применение в строительной отрасли и имеют хорошие перспективы более активного их использования в России.

Список литературы

1. Люкшин Б.А. Композитные материалы: учеб. пособие. – Томск: Изд – во ТУСУР, 2014. – 101 с.
2. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Техника и технология. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.
3. Попов А. Ю., Госина К. К., Петров И.В. и др. Классификация, состав, достоинства и недостатки композитных материалов. Омский научный вестник №3 (143). 2015. – С. 42 – 45.
4. А. И. Рыбьев. Материаловедение в строительстве: учеб. пособие/Под ред. И. А. Рыбьева. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 528 с.

5. Генезис древесно-полимерных композиционных материалов [Электронный ресурс] <http://www.dpk-deck.ru/page/vidi-compositov.html> (дата обращения 26.02.2020).
6. М. С. Рогатко. Применение композиционных материалов в строительстве. Материалы международной научно-технической конференции. С. 82 – 86.
7. Данилова-Волковская Г. М., Шимловская В. Ю., Волковский Н. Н. Инновационные композиционные материалы в строительстве. Современная наука и инновации. №4. 2015. – С. 70 – 75.
8. Власенко Ф. С., Раскутин А. Е. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях. Труды ВИАМ. № 8. – 2013. – С. 4 – 13.
9. Анахин Н.Ю., Грошев Н.Г., Оноприйчук Д.А. Исследование современных строительных материалов. Территория науки. 2016. № 6. – С. 120 – 124.
10. Вержбовский Г. Б. Быстровозводимые малоэтажные здания из композитных материалов. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». №3 (2015) [Электронный ресурс]. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3122> (дата обращения 16.01.2019).
11. Вержбовский Г.Б. Малоэтажные быстровозводимые здания и сооружения из композитных материалов. Ростов н/Д: ООО «Изд-во Бара», 2015. – 280 с.
12. Вержбовский Г.Б. Композитные легкокаркасные здания // Наукоедение. 2014. №9. – С. 879-884.
13. Старцев С.А., Сундукова А.А. Усиление кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 6 (21). – С. 17–31.
14. М.Н. Свирский, Т.М. Бочкарева Анализ применимости тканых композитов в качестве армирующих слоев каменной кладки. Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. №4. – С. 152 – 154.
15. Грановский А. В., Галишников В. В., Берестенко Е. И. Перспективы применения арматурных сеток на основе базальтового волокна в строительстве. Промышленное и гражданское строительство. – 2015. № 3. – 59 – 63.
16. Вентиляционные фасады из композитных панелей. [Электронный ресурс] <https://fasad-exp.ru/ventiliruemye-fasady/kompozitnye-paneli-dlya-fasada.html> (дата обращения 28.02.2019).
17. Композитные материалы для внутренней отделки помещений. [Электронный ресурс] <https://osnova-composite.ru/#production> (дата обращения 01.03.2020).
18. Трубы из стеклопластика. [Электронный ресурс] <http://ecoplast-russia.ru/images/PDF/catalogpipes.pdf> (дата обращения 28.02.2020).
19. Т.С. Имомназаров, К.А. Костюкова, Г.А. Харисова. Применение композитной опалубки в строительстве. Системные технологии. – 2017. – №23. – С. 21 – 23.
20. Композитная опалубка. [Электронный ресурс] <http://opalubka-tut.ru/opalubka-kolonn/plastikovaya-opalubka-dlya-monolitnogo-stroitelstva-ceny-proizvoditeli> (дата обращения 01.03.2020).
21. Малые архитектурные формы из стеклопластика [Электронный ресурс] <http://petrokompozit.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%8B-%D0%B8%D1%83%D1%81%D0%BB%D1%83%D0%B3%D0%B8> (дата обращения 01.03.2020).