 © Авторы статьи / Authors of the article

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201 EDN: GLFCCN

ВНЕШНЕЕ АРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИ РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

Научная статья

Мурузина Е.В.[1, *]
[1] ORCID : 0000-0001-6663-344X;
[1] Набережночелнинский институт Казанского федерального университета, Набережные Челны, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (sds-m7lab[at]mail.ru)

Предложена: 12.07.2023; Принята: 06.12.2023; Опубликована: 18.12.2023

Аннотация

С каждым годом растет потребность в ремонте несущих железобетонных конструкций. Наиболее применимым для этих целей является использование внешнего армирования композитными материалами. Оно не утяжеляет конструкции, при этом обладает значительными прочностными и адгезионными свойствами. В работе показано получение, структура и свойства композитных материалов на основе углеродного волокна, а также приведен пример расчета железобетонной плиты двух сечений, усиленной одним из таких материалов. Показана его эффективность, где запас несущей способности плиты по изгибающему моменту и поперечной силе превысил максимальные расчетные значения. Композитные материалы все больше выпускаются отечественными производителями.

Ключевые слова: усиление железобетонных конструкций, внешнее армирование, углеродное волокно, композитные материалы.

EXTERNAL REINFORCEMENT WITH COMPOSITE MATERIALS IN THE REPAIR OF REINFORCED CONCRETE PLATES

Research article

Muruzina E.V.[1, *]
[1] ORCID : 0000-0001-6663-344X;
[1] Naberezhnye Chelny Institute of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russian Federation

* Corresponding author (sds-m7lab[at]mail.ru)

Suggested: 12.07.2023; Accepted: 06.12.2023; Published: 18.12.2023

Abstract

Every year, the necessity to repair load-bearing reinforced concrete structures is increasing. The most applicable for these purposes is the use of external reinforcement with composite materials. It does not weigh down the structures, while possessing significant strength and adhesion properties. The work shows the obtaining, structure and properties of carbon fibre based composite materials, and also gives an example of calculation of a reinforced concrete slab of two sections reinforced with one of such materials. Its efficiency is shown, where the bearing capacity reserve of the slab by bending moment and transverse force exceeded the maximum design values. Composite materials are increasingly produced by domestic manufacturers.

Keywords: reinforcement of steel reinforced concrete structures, external reinforcement, carbon fibre, composite materials.

Введение

Сразу же после окончания любого строительства запускается постепенный процесс износа здания (сооружения).

Влияние факторов износа (коррозия материалов, нарушение условий эксплуатации, некачественное изготовление конструкций, воздействие агрессивной среды, нарушение правил технологий производства, чрезмерные нагрузки и др.) приводит к снижению несущей способности элементов конструкций [1].

В результате длительной эксплуатации без проведения, как правило, профилактических и капитальных ремонтов, часть конструкций зданий (сооружений) начинает терять запроектированные свойства, включая разрушение бетона, коррозию арматуры и других строительных материалов.

В связи с этим доля строительных объектов, нуждающихся в ремонте, включая капитальный, с каждым годом растет [2].

Ввиду этого возникает необходимость в усилении и ремонте несущих конструкций в период реконструкции и технического перевооружения объектов строительства.

На сегодняшний день наиболее распространенной становится технология ремонта строительных конструкций системой внешнего армирования на основе композитного волокна [3], [4], [5]. Все чаще этой системе отдают предпочтение, когда речь заходит об укреплении, восстановлении строительных конструкций.

Применение композитных материалов не утяжеляет существующие конструкции, проявляя при этом значительные прочностные, адгезионные характеристики, отвечающие требованиям стандартов и безопасности [6].

Цель данной работы – показать использование композитного материала на примере однонаправленной ткани при усилении железобетонной плиты перекрытия двух сечений.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Теория

Композиты используют во многих отраслях промышленности: стеклопластиковые внутренние газоотводящие стволы используют в трубах тяжелой энергетики [7], для водородной энергетики разрабатываются трехмерные материалы в качестве сорбентов газов – в этих никель-графеновых композитах частицы никеля имеют нанометровый размер [8].

Создаются материалы с уникальными свойствами: самый теплостойкий углерод-углеродный композитный материал сохраняет высокую прочность до 2500ºС [9].

Термостойкость алюмосиликатной стеклокерамики и композитов на ее основе составляет 1000°С независимо от природы наполнителей [10], что делает ее весьма трещиностойкой при высоких температурах, с возможностью использования в авиакосмической технике и автомобилестроении.

Внедрение композитных материалов требует новых подходов в обработке этих материалов [11]: резание композитов с дополнительным технологическим покрытием, терморезание с нагревом до 200-300°С, пластическим деформированием поверхности (с предварительным деформированием срезаемого слоя) с помощью рифленых или цилиндрических роликов.

Композитные материалы подразделяются на стеклопластики, углепластики, базальтопластики и органопластики [12].

Наибольшее распространение получили углепластики, имеющие высокие прочностные и упругие характеристики, низкую плотность с сохранением механических свойств при отрицательных температурах до -60°С [13].

Важно помимо получения композитов с заданными свойствами исследовать долговечность таких материалов и процессы старения при эксплуатации, например наномодифицированных углепластиков [14], а также влияние методов получения углепластиков на их дальнейшие свойства [15].

В строительстве композитные материалы показывают себя наиболее эффективными при устройстве рельефной стеновой опалубки [16], наружного армирования железобетонных, деревянных и кирпичных элементов зданий [17]. Предлагается также устройство временных автодорожных разборных балочных мостов повышенной грузоподъемности из элементов углепластикового композита. Такая конструкция обеспечивает низкую массу строения и высокую коррозионную стойкость, а также меньшую площадь воздействия ветровой нагрузки [18].

Необходимые свойства углеродных композиционных материалов (низкая масса, деформируемость, относительно высокая прочность, клейкость, стойкость к воздействию агрессивных внешних факторов) обусловлена их структурой и способом изготовления.

Углеродное волокно – это продукт искусственного (химического) происхождения (полиакрилонитрил). Полиакрилонитрил (ПАН) – синтетический линейный полимер, полученный полимеризацией акрилонитрила:

$$[-CH_2-CH(CN)-]_n$$

Образуется оно из тонких нитей диаметром 3...15 мкм (3...15×10^{-6} м), а те, в свою очередь, из атомов углерода (рис. 1) [19]. Слои атомов углерода уложены плоско-гексагонально, образуя микрокристаллы углеродных волокон со структурой графита.

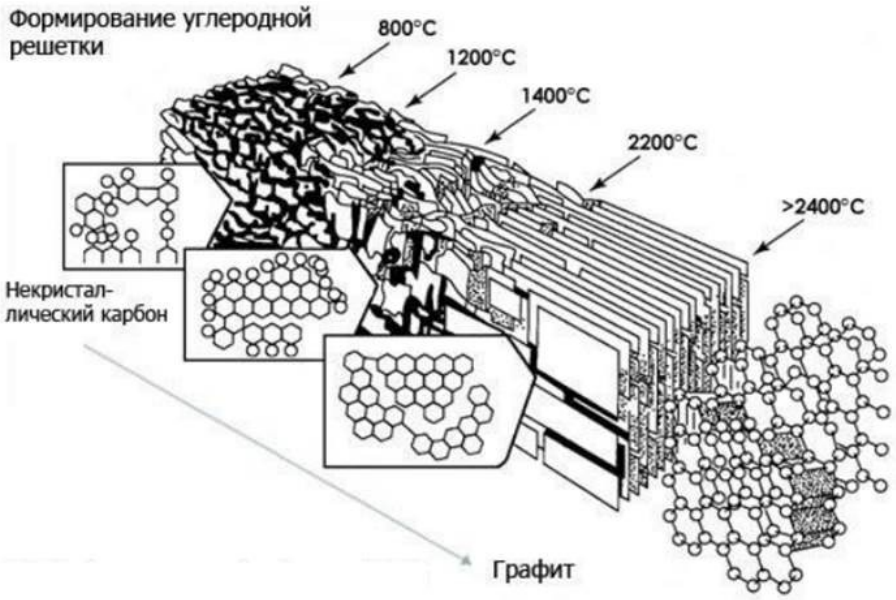

Рисунок 1 - Формирование углеродной решетки
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201.1

Примечание: источник [19]

Взаимодействие атомов в слоях – сильное ковалентное (~525 кДж/моль). Межслоевая связь определяется слабыми ван-дер Ваальсовыми силами (менее 10 кДж/моль). В связи с этим кристаллу графита присуща сильная анизотропия. Волокно получается с высоким модулем упругости, из-за ориентации слоев атомов углерода параллельно оси.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Углеродные волокна имеют относительно низкую плотность (~2000 кг/м^3), обладая при этом высокой удельной жесткостью. Механические свойства волокон сильно зависят от сырья, из которого они изготовлены, и условий карбонизации.

Вначале ПАН-волокна вытягивают для желаемой ориентации молекул, а затем нагревают на воздухе до 200-280°С. В результате внутримолекулярной перестройки образуется стабильная трехмерная сетчатая структура. В результате этого образуется вещество оксиПАН.

Нагрев в атмосфере азота или аргона при температуре 900-1200°С позволяет получать высокопрочные углеродные волокна. Они имеют кристаллическую структуру с ориентацией слоев решетки параллельно оси волокна. Это придает полученному материалу высокую пористость и низкую плотность.

Дальнейший нагрев в аргоновой атмосфере приводит к графитизации волокон, при которой увеличивается жесткость, а плотность возрастает до 2000 кг/м^3, т.е. приближается к плотности графита (2260 кг/м^3). Модуль упругости получаемого материала увеличивается при возрастании температуры нагрева, а затем плавно снижается. Далее из полученных нитей либо формуют изделия, либо подвергают поверхностной обработке для дальнейшего улучшения адгезионных свойств с матрицей. В результате окисления волокон их поверхность становится более шероховатой, а затем замасливается.

В качестве сырья для получения углеродных волокон можно использовать получаемые из нефти и угля пеки, содержащие сложную смесь высокомолекулярных алифатических и ароматических гидрокарбонатов, содержащих большое количество атомов углерода. В результате описанных выше технологических процессов получают волокна с достаточно упорядоченной структурой микрокристаллов графита. Пековые волокна обладают большими значениями модуля продольной упругости, плотности и прочности [20].

Таким образом, из полученных углеродных волокон создаются изделия: ленты (ткани), ламели (ламинаты) и углеродные сетки.

Углеродные ленты (ткани) – универсальны и удобны в применении при усилении, ремонте строительных конструкций, имеют ширину 150…600 мм (рис. 2) [21].

Рисунок 2 - Углеродная лента FibArm
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201.2

Примечание: источник [21]

Композитные ламели применяют для усиления конструкций больших размеров или сечений, и высокоответственных объектов; они имеют повышенную стоимость по сравнению с углеродной тканью.

Ламели (ламинаты) представляют собой готовые пластины на основе углеродных волокон шириной 50-100 мм, которые увеличивают несущую способность при ремонте поверхностей: бетонных, железобетонных, каменных, стальных и деревянных (рис. 3) [21].

Рисунок 3 - Углеродная ламель FibArm
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201.3

Примечание: источник [21]

Наибольшая эффективность достигается за счет комбинированного использования комбинаций лент и ламелей, что позволяет варьировать различными типами усиления.

Достоинства, недостатки и ограничения углеродных тканей, ламелей и сеток, результаты испытаний основных физико-механических показателей приведены в [3], в табл.1 – разновидности тканей (лент).

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 1 - Характеристика однонаправленных тканей (лент)

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201.4

№	Наименование	Поверхностная плотность, г/см^2	Толщина, мм	Прочность нити на растяжение, МПа	Модуль упругости нити, МПа	Удлинение при разрыве, %	Ширина рулона, мм
1	Fibarm Tape-200/100	200±10	0,111	-	-	-	100±5
2	Fibarm Tape-230/150	230±10	0,128	3574	254 000	1,54-1,76	150±5
3	Fibarm Tape-230/300						300±5
4	Fibarm Tape-230/600						600±5
5	Fibarm Tape-300/300	300±10	0,167	3400	240 000	0,7-2,0	300±5
6	Fibarm Tape-430/150	430±10	0,239				150±5
7	Fibarm Tape-530/150	**530±10**	**0,294**	**3003**	**227 000**	**1,38-1,6**	150±5
8	**Fibarm Tape-530/300**						**300±5**
9	Fibarm Tape-530/600						600±5

Сетки из углеродного волокна (рис. 4-5) [21] применяются как для усиления строительных конструкций, так и армирования фасадных панелей и тонкостенных конструкций.

Рисунок 4 - Углеродная сетка FibArm Grid

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201.5

Примечание: источник [21]

 © Авторы статьи / Authors of the article

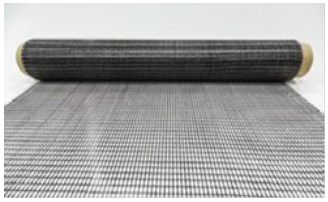

Рисунок 5 - Углеродная сетка FidArm Grid в рулоне
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201.6

Примечание: источник [21]

Технология монтажа системы внешнего армирования (СВА) состоит из нескольких этапов: ремонт поврежденной конструкции, подготовка лент, нанесение грунтовочного состава (на основе эпоксидной смолы и наполнителей), пропитка и монтаж лент или ламелей. Покрывающий слой состоит из эпоксидных смол и полиаминного отвердителя. Если необходимо, то ремонтируемую поверхность обрабатывают огнезащитным покрытием или посыпкой мелкого песка для адгезии, далее наносится защитное покрытие полимерцементного состава. В процессе полимеризации образуется твердый и долговечный композит в виде пирога, обладающий высокими физико-механическими свойствами, который в кратчайшие сроки восстанавливает несущую способность конструкции без увеличения собственной массы за короткий срок.

К настоящему времени накопился некоторый опыт применения систем внешнего армирования при ремонте строительных объектов [22]. Изучается поведение анкеров из углеродных волокон при внешнем армировании [23].

В данной работе приводится примеры расчета применения ткани из углеродного волокна при усилении железобетонной плиты перекрытия таврового и прямоугольного сечений.

Методы проектирования

Для ремонта железобетонной плиты таврового сечения выбираем однонаправленную ткань СВА Fibarm Tape-530/300 (табл. 1).

3.1. Расчет изгибающего элемента на действие момента

Исходные данные:

- нормативное значение сопротивления ненапряженной арматуры растяжению: $R_{s,n}$ = 420 МПа;
- количество слоев композиционных материалов: n = 5;
- ширина композитного материала: b_f = 30 см = 0,3 м;
- толщина композитного материала: t_f = 0,294 мм.

Защитный слой:

- расстояние от равнодействующей силы в арматуре S до грани сечения: a_s = 2,9 см = 0,029 м;
- площадь ненапрягаемой сжатой или наименее растянутой продольной арматуры: A'_s = 0 см^2 = 0 м^2;
- площадь ненапрягаемой арматуры: A_s = 0,002 м^2.

Размеры таврового (двутаврового) сечения плиты приведены на рис. 6.

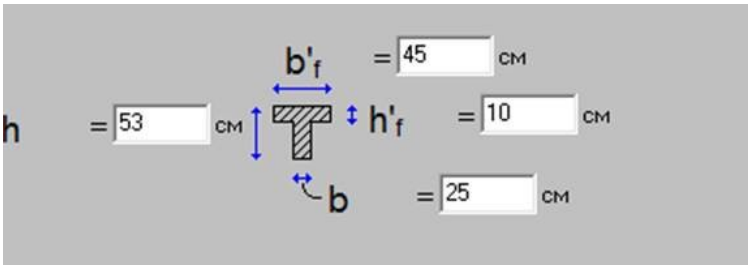

Рисунок 6 - Размеры таврового (двутаврового) сечения железобетонной плиты
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201.7

Размеры таврового сечения:

- ширина ребра: b = 25 см = 0,25 м;
- высота полки в сжатой зоне: h'_f = 10 см = 0,1 м;
- ширина полки в сжатой зоне: b'_f = 45 см = 0,45 м.

Усилия изгибающего момента от постоянной и длительной нагрузки:

$$M = 40,1 \text{ тс} \cdot \text{м} = \frac{40,1}{101,972} = 0,393 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

где 101,972 – это переводной коэффициент с тонн сил на метр в мега ньютон на метр.

Коэффициент надежности арматуры: g_s = 1,15.

Поперечная арматура в данном расчете не рассматривается, значения принимаются для углеродного композитного материала в виде тканого материала, условия эксплуатации конструкции – во внутренних помещениях.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Коэффициент условий работы, зависящий от типа композитного материала и условий эксплуатации конструкции: g_{f1} = 0,9.

Коэффициент надежности для композитного материала: g_f = 1,2.

Коэффициент условий работы композитного материала, учитывающий сцепление композитного материала с бетоном: g_{f2} = 1,0.

Изгибаемые бетонные конструкции, усиливаемые внешним армированием из композитных материалов, должны иметь класс бетона не менее В15. Принимаем бетон класса В30.

Проверка условия образования трещин:

Начальный модуль упругости принимается по табл. 6.11 [24]:

$$E_b = 32500 \text{ МПа}.$$

Приведенное значение толщины защитного слоя растянутой арматуры:

$$a = E_s \cdot A_s \cdot \frac{a_s}{E_s} \cdot A_s = a_s = 0,029 \text{ м} = 2,9 \text{ см}.$$

Приведенное значение толщины защитного слоя сжатой арматуры:

$$a'_s = 0 \text{ м}; \; h_0 = h - a = 0,501 \text{ м} = 50,1 \text{ см}.$$

Момент образования трещины определяется с учетом неупругих деформаций.

Определение характеристик приведенного сечения:

Коэффициент приведения ненапрягаемой арматуры к бетону:

$$a_s = \frac{E_s}{E_b} = 6,1538 \text{ м}; \; h'_0 = h - a'_s = 0,53 \text{ м} = 53 \text{ см}.$$

Поперечное сечение – тавровое с полкой в сжатой зоне.

Площадь поперечного сечения:

$$A = b \cdot (h - h'_f) + b'_f \cdot h'_f = 0,1525 \text{ м}^2 = 1525 \text{ см}^2.$$

Статический момент бетонного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_t = \frac{b}{2}\left(h - h'_f\right)^2 + b'_f \cdot h'_f \cdot \left(h - \frac{h'_f}{2}\right) = 0,04471 \text{ м}^3 = 44710 \text{ см}^3.$$

Площадь поперечного сечения бетона:

$$A_b = b \cdot \left(h - h'_f\right) + b'_f \cdot h'_f - A'_s - A_s = 0,1505 \text{ м}^2 = 1505 \text{ см}^2.$$

Площадь приведенного поперечного сечения:

$$A_{\text{red}} = a_s \cdot \left(A_s + A'_s\right) + A_b = 0,16281 \text{ м}^2 = 1628,1 \text{ см}^2.$$

Статический момент приведенного сечения относительно наиболее растянутого волокна:

$$S_{t,\text{ red}} = \left(a_s - 1\right)\left(A_s \cdot a_s + A'_s\left(h - a'_s\right)\right) + \frac{b}{2}\left(h - h'_f\right)^2 + b'_f \cdot h'_f \cdot \left(h - \frac{h'_f}{2}\right)$$

$$= 0,04501 \text{ м}^3 = 45010 \text{ см}^3.$$

Определение момента образования трещин:

Расчетное значение сопротивления бетона В30 осевому сжатию для предельных состояний второй группы: $R_{b,ser} = R_{bn}$ = 22 МПа.

Расчетное значение сопротивления бетона В30 осевому растяжению для предельных состояний второй группы: $R_{bt,ser} = R_{btn}$ = 1,75 МПа.

$$y_c = 0,25354 \text{ м}; \; y_t = h'_0 - y_c = 0,27646 \text{ м}.$$

Момент инерции площадей поперечного сечения растянутой арматуры:

$$I_s = A_s\left(h - a_s - y_c\right)^2 = 0,000122473 \text{ м}^4 = 12247,3 \text{ см}^4;$$

$$I = 0,00396 \text{ м}^4; \; I'_s = 0 \text{ м}^4.$$

Момент инерции уменьшенного поперечного сечения:

$$I_{red} = I + I_s(a_s - 1) + I'_s(a_s - 1) = 0,00459 \text{ м}^4 = 459000 \text{ см}^4.$$

Упругий момент сопротивления приведенного сечения:

$$W_{pl} = 1,3 \cdot W_{red} = 0,02158 \text{ м}^3 = 21580 \text{ см}^3.$$

Изгибающий момент, воспринимаемый нормальным поперечным сечением элемента при образовании трещин:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} = 0,03777 \text{ МН} \cdot \text{м} = 3,85 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

В связи с тем, что $M = 40,1 \text{ тс} \cdot \text{м} > M_{crc} = 3,85 \text{ тс} \cdot \text{м}$ *, условие по трещиностойкости не выполняется*. Поэтому дальнейший расчет предусматривает сечение с трещинами в растянутой зоне.

Жесткость железобетонного элемента на участках с трещинами в растянутой зоне при длительном действии нагрузки.

Высота сжатой зоны в ребре:

$$x = \frac{\left(R_s \cdot A_s + R_f \cdot A_f - R_{sc} \cdot A'_s - R_b\left(b'_f - b\right)h'_f\right)}{R_b \cdot b} = 0,179 \text{ м} = 17,9 \text{ см}.$$

Относительная высота сжатой зоны: $x = \frac{x}{h} = \frac{0,179}{0,53} = 0,3377$.

Поскольку $x = 0,3377 < R_{n,f} = 0,4409$ *– условие удовлетворяется*.

Предельный изгибающий момент составит:

 © Авторы статьи / Authors of the article

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) + R_b \cdot (b'_f - b) \cdot h'_f \cdot (h_0 - 0,5h'_f) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s) + R_f \cdot A_f \cdot a = 0,4329 \text{ МН} \cdot \text{м} = 44,14 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Проверка условия показала: $M = 40,1 \text{ тс} \cdot \text{м} = 0,393 \text{ МН} \cdot \text{м} < M_{ult} = 44,14 \text{ тс} \cdot \text{м} = 0,4329 \text{ МН} \cdot \text{м}$ *, условие выполнено.*

При этом M – расчетный момент, который должна воспринять усиленная конструкция; M_{ult} – это несущая способность усиленной конструкции по изгибающему моменту.

Таким образом, показано, что расчетный момент усиленной конструкции оказался меньше несущей способности, что говорит о достаточной эффективности данного метода. Запас несущей способности усиленной плиты по изгибающему моменту составил 10,08% от максимальных расчетных значений.

3.2. Расчет железобетонного элемента по наклонным сечениям

Исходные данные:

Хомуты из композитного материала:

- Шаг хомутов в проекции на продольную ось: $s_{f,w}$ = 40 см = 0,4 м; высота наклейки хомутов, изготовленных из композитного материала: $h_{f,w}$ = 43 см = 0,43 м;
- угол наклона хомутов из композитного материала к продольной оси элемента: a = 90°;
- ширина хомутов из композитного материала: w_f = 30 см = 0,3 м;
- количество слоев композиционных материалов: n = 1;
- ширина композитного материала: b_f = 30 см = 0,3 м;
- длина проекции наклонного сечения: c = 100 см = 1 м.

Защитный слой:

- расстояние от равнодействующей силы в арматуре S до грани сечения: a_s = 2,9 см = 0,029 м;
- площадь ненапрягаемой растянутой арматуры: A_s = 20,04 см^2 = 0,002 м^2;
- площадь ненапрягаемой сжатой арматуры: A'_s = 0 см^2 = 0 м^2.

Поперечная стержневая арматура диаметром 6 мм 4 шт.:

- площадь поперечной арматуры: A_{sw} = 1,13 см^2 = 0,000113 м^2;
- шаг стержней поперечной арматуры: s_w = 15 см = 0,15 м.

Размеры прямоугольного сечения (рис. 7):

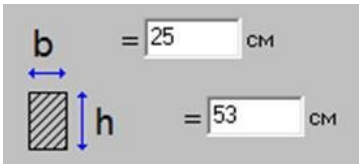

Рисунок 7 - Размеры прямоугольного сечения железобетонной плиты

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.201.8

- высота сечения: h = 53 см = 0,53 м;
- ширина сечения: b = 25 см = 0,25 м.

Усилия поперечной силы: $Q = 25,5 \text{ т} \cdot \text{с} = \frac{25,5}{101,97} = 0,25007 \text{ МН}$.

Результаты расчета:

Расчетное сопротивление рассчитывалось для тяжелого бетона, расчет осуществлялся по первой группе предельных состояний железобетонной конструкции.

Значения начального модуля упругости бетона В30 при длительной нагрузке:

$$E_{b,t} = \frac{E_b}{(1+f_{b,cr})} = \frac{32500}{(1+2,3)} = 9848,4848 \text{ МПа},$$

где $f_{b,cr}$ – коэффициент ползучести бетона, $f_{b,cr}$ = 2,3.

Расчетные значения прочностных характеристик арматуры:

- предварительное напряжение арматуры отсутствует;
- класс ненапрягаемой продольной арматуры – А400;
- класс поперечной арматуры – А240.

Расчетное значение сопротивления растяжению принято для углеродного композита, вид композитного материала – тканый материал, условия эксплуатации конструкции – для внутренних помещений.

Расчет железобетонных элементов вдоль полосы между наклонными сечениями выполняется без учета работы по внешнему армированию композитными материалами.

Поперечное сечение прямоугольное, элемент изгибаемый.

Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил.

Предельное значение поперечной силы:

$$Q_{ult} = f_n \cdot Q_b + Q_{sw} + Q_{fw} = 0,32517 \text{ МН} = 33,157 \text{ т} \cdot \text{с}.$$

Проверка условия:

$Q = 25,5 \text{ т} \cdot \text{с} = 0,25007 \text{ МН} < Q_{ult} = 33,157 \text{ т} \cdot \text{с} = 0,32517 \text{ МН}$ *, условие выполнено*. Запас прочности усиленной плиты по значению поперечной силы составил 30,03% от максимальных расчетных значений.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Расчеты усиления железобетонных плит возможны как ручным методом, так и с помощью систем автоматизированного расчета Lira-САПР или SCAD.

Заключение

На примере использования однонаправленной ткани при усилении железобетонной плиты перекрытия таврового и прямоугольного сечений выявлено, что запас несущей способности плиты по изгибающему моменту составил 10% и поперечной силы – 30% от максимальных расчетных значений для рассмотренных вариантов конструкций. Использование внешнего армирования как метода усиления строительных конструкций показывает себя эффективно.

Наряду с достижением повышенных физико-механических свойств ремонтируемых железобетонных конструкций, применение данного метода позволяет не выводить строительный объект из эксплуатации. Также плюсом является и то, что подобные материалы выпускаются отечественными производителями, что делает их доступными.

Композитные материалы на основе синтетических волокон будут использоваться для строительства и в дальнейшем. Ожидается расширение ассортимента строительного назначения, например, тросы для скоростных лифтов и большепролетных мостов. По данным прогноза [25] потребление углеродного волокна в России в 2025 году может составить более 3000 т.

Благодарности

Автор выражает признательность Шмелеву Сергею Михайловичу – начальнику отдела проектного сопровождения ООО «АЛАБУГА-ВОЛОКНО» АО «ЮМАТЕКС» ГК «Росатом» (Россия) за помощь при подготовке материала статьи.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Acknowledgement

The author expresses their gratitude to Sergey Mikhailovich Shmelev – Head of Project Support Department of LLC "ALABUGA-VOLOKNO" of JSC "YUMATEX" of SC "Rosatom" (Russia) for helping in preparation of the article material.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Осипов С.Н. Об оценке физического износа упругопластических элементов зданий / С.Н. Осипов, Д.А. Поздняков // Наука и техника. — 2015. — № 6. — С. 30-36.

2. Фонд капитального ремонта: формируем правильно // Гарант.ру. — 2016. — URL: https://www.garant.ru/actual/fond_kapremonta (дата обращения: 14.06.2023).

3. Герфанова О.А. Система внешнего армирования строительных конструкций полимерными композитами на основе углеродных волокон для гидротехнического строительства / О.А. Герфанова, П.В. Осипов, К.Е. Фролов // Известия Всерос. науч.-исслед. инст. гидротехники им. Б.Е. Веденеева. — 2019. — № 291. — С. 36-46.

4. Федотов М.Ю. Внешнее армирование композитными материалами и оптический мониторинг надежности эксплуатации строительных сооружений (обзор) / М.Ю. Федотов, О.Н. Будадин, С.О. Козельская и др. // Конструкции из композиционных материалов. — 2022. — № 1(165). — С. 57-67.

5. Хошимова Ф.Ф. Экспериментальное и расчетное исследование ленты из углеродного волокна для внешнего армирования деревянных мостовых брусьев / Ф.Ф. Хошимова, А.Э. Поликутин, Д.В. Панфилов и др. // Химия, физика и механика материалов. — 2022. — № 1(32). — С. 91-103.

6. Песков А.Н. Применение композитных материалов в современном строительстве / А.Н. Песков, Н.В. Шешенёв // Новые технологии в учебном процессе и производстве. — Рязань: Рязаньпроект, 2019. — С. 213-215.

7. Асташкин В.М. Газоотводящие стволы из полимерных композитов в дымовых трубах большой энергетики / В.М. Асташкин, С.Б. Шматков, А.С. Шматков // Вестник Юж.-Урал. гос. ун-та. Серия «Строительство и архитектура». — 2015. — № 2. — С. 20-25.

8. Тарасов Б.П. Композиты с 2d графеновыми структурами для водородной энергетики и катализа процессов с участием водорода / Б.П. Тарасов, А.А. Арбузов, С.А. Можжухин и др. // Журнал структурной химии. — 2018. — № 59(4). — С. 867-875.

9. Tkachyov K. Composite Carbon-carbon Materials / K. Tkachyov, S. Iskakova // Bulletin of Science of South Kazakhstan. — 2021. — № 2(14). — P. 54-59.

10. Чайникова А.С. Sr-анортитовая стеклокерамика, армированная частицами нитрида кремния, с повышенной трещиностойкостью / А.С. Чайникова, Л.А. Орлова, Н.В. Попович // Журнал прикладной химии. — 2015. — № 88(1). — С. 21-30.

11. Юдина Е.В. Современные технологии повышения эффективности и качества механической обработки полимерных композиционных материалов, используемых в ракетно-космической технике / Е.В. Юдина // Инновации. Наука. Образование. — 2020. — № 22. — С. 323-332.

12. Кукарцев В.Н. Применение композиционных материалов в строительных конструкциях с использованием 3D-технологий / В.Н. Кукарцев, Е.В. Мурузина // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. — 2020. — № 2(85). — С. 101-112.

 © Авторы статьи / Authors of the article

13. Сачкова С.И. Усиление железобетонных конструкций композиционным материалом – углепластиком / С.И. Сачкова, Е.И. Лекомцева // Фотинские чтения. — 2015. — № 1(3). — С. 70-73.

14. Старцев В.О. Влияние натурных и ускоренных климатических испытаний на прочность наномодифицированного углепластика / В.О. Старцев, А.М. Коган, А.А. Нечаев // Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения. — Москва, 2022. — С. 53-69.

15. Вешкин Е.А. Исследование свойств образцов углепластика, отформованных методом инфузии / Е.А. Вешкин, В.И. Постнов, В.В. Семенычев и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2020. — Т. 86. — № 3. — С. 39-43.

16. Животов Д.А. Перспективные технологии аддитивного производства стеновой опалубки из углепластика / Д.А. Животов, Ю.И. Тилинин // Инженерно-строит. вестник Прикаспия. — 2022. — № 2(40). — С. 32-36.

17. Чернявский В.Л. Применение углепластиков для усиления железобетонных конструкций промышленных зданий / В.Л. Чернявский, Е.З. Аксельрод // Промышленное и гражданское строительство. — 2004. — № 3. — С. 37-38.

18. Пат. 192667 Российская Федерация, МПК E01D 1/00. Пролетное строение повышенной грузоподъемности из углепластика универсальных мостовых конструкций / Стройков В.А., Светлов Л.П., Озорнин А.А. и др.; заявитель и патентообладатель Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева. — № 2019115492; заявл. 2019.05.21; опубл. 2019.09.25. — 8 с.

19. Формирование углеродной решетки // S.R. Brothers. — 2011. — URL: https://www.srbrothers.ru (дата обращения: 14.06.2023).

20. Ата Э.К.С. Углепластики в управляемых конструкциях / Э.К.С. Ата, А.Г. Юрьев, Л.А. Панченко // Вестник Белгородского гос. технологич. ун-та им. В.Г. Шухова. — 2009. — № 3. — С. 40-42.

21. Углеродная лента FibArm Tape // Система внешнего армирования (СВА) от компании Umatex. — 2020. — URL: https://fibarm.ru/katalog/sva/uglerodnye_lenty/ (дата обращения: 14.06.2023).

22. Корнюхин А.В. Усиление строительных конструкций композитными материалами по технологии внешнего армирования / А.В. Корнюхин, Д.Р. Баишева // Современные научные исследования и инновации. — 2020. — № 1(105). — С. 11-13.

23. Симаков О.А. Работа на срез анкеров на основе углеродных волокон при внешнем армировании / О.А. Симаков, С.А. Зенин, О.В. Кудинов // Промышленное и гражданское строительство. — 2019. — № 9. — С. 59-64.

24. СП 63.13330-2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — Введ. 2019-06-20. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 124 с.

25. Андреева Е.Л. Факторы развития неоиндустриального экспорта в странах большой Евразии / Е.Л. Андреева, А.В. Ратнер, Д.Е. Кузнецова // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. — Москва: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2020. — Вып. 3. — Ч. 2. — С. 616-618.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Osipov S.N. Ob otsenke fizicheskogo iznosa uprugoplasticheskih elementov zdanij [On the Assessment of Physical Wear of Elastic-plastic Elements of Buildings] / S.N. Osipov, D.A. Pozdnjakov // Nauka i tehnika [Science and Technology]. — 2015. — № 6. — P. 30-36. [in Russian]

2. Fond kapital'nogo remonta: formiruem pravil'no [Capital repair fund: how to form it correctly] // Garant.ru. — 2016. — URL: https://www.garant.ru/actual/fond_kapremonta (accessed: 14.06.2023). [in Russian]

3. Gerfanova O.A. Sistema vneshnego armirovanija stroitel'nyh konstruktsij polimernymi kompozitami na osnove uglerodnyh volokon dlja gidrotehnicheskogo stroitel'stva [The System of External Reinforcement of Building Structures with Polymer Composites Based on Carbon Fibers for Hydraulic Engineering Construction] / O.A. Gerfanova, P.V. Osipov, K.E. Frolov // Izvestija Vseros. nauch.-issled. inst. gidrotehniki im. B.E. Vedeneeva [Proceedings of the All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneev]. — 2019. — № 291. — P. 36-46. [in Russian]

4. Fedotov M.Ju. Vneshnee armirovanie kompozitnymi materialami i opticheskij monitoring nadezhnosti ekspluatatsii stroitel'nyh sooruzhenij (obzor) [External Reinforcement with Composite Materials and Optical Monitoring of Reliability of Operation of Construction Structures (overview)] / M.Ju. Fedotov, O.N. Budadin, S.O. Kozel'skaja et al. // Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov [Structures Made of Composite Materials]. — 2022. — № 1(165). — P. 57-67. [in Russian]

5. Hoshimova F.F. Eksperimental'noe i raschetnoe issledovanie lenty iz uglerodnogo volokna dlja vneshnego armirovanija derevjannyh mostovyh brus'ev [Experimental and Computational Study of Carbon Fiber Tape for External Reinforcement of Wooden Bridge Beams] / F.F. Hoshimova, A.E. Polikutin, D.V. Panfilov et al. // Himija, fizika i mehanika materialov [Chemistry, Physics and Mechanics of Materials]. — 2022. — № 1(32). — P. 91-103. [in Russian]

6. Peskov A.N. Primenenie kompozitny`x materialov v sovremennom stroitel`stve [Application of Composite Materials in Modern Construction] / A.N. Peskov, N.V. Sheshenyov // Novye texnologii v uchebnom processe i proizvodstve [New Technologies in the Educational Process and Production]. — Ryazan: Ryazanproject, 2019. — P. 213-215. [in Russian]

7. Astashkin V.M. Gazootvodjaschie stvoly iz polimernyh kompozitov v dymovyh trubah bol'shoj energetiki [Exhaust Trunks Made of Polymer Composites in the Chimneys of Large Energy] / V.M. Astashkin, S.B. Shmatkov, A.S. Shmatkov // Vestnik Yuzh.-Ural. gos. un-ta. Seriya «Stroitel`stvo i arxitektura» [Bulletin of the South Ural State University. Series "Construction and Architecture"]. — 2015. — № 2. — P. 20-25. [in Russian]

8. Tarasov B.P. Kompozity s 2d grafenovymi strukturami dlja vodorodnoj energetiki i kataliza protsessov s uchastiem vodoroda [Composites with 2d Graphene Structures for Hydrogen Energy and Catalysis of Processes Involving Hydrogen] / B.P. Tarasov, A.A. Arbuzov, S.A. Mozhzhuhin et al. // Zhurnal strukturnoj himii [Journal of Structural Chemistry]. — 2018. — № 59(4). — P. 867-875. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

9. Tkachyov K. Composite Carbon-carbon Materials / K. Tkachyov, S. Iskakova // Bulletin of Science of South Kazakhstan. — 2021. — № 2(14). — P. 54-59.

10. Chajnikova A.S. Sr-anortitovaja steklokeramika, armirovannaja chastitsami nitrida kremnija, s povyshennoj treschinostojkost'ju [Sr-anorthite Glass Ceramics Reinforced with Silicon Nitride Particles, with Increased Crack Resistance] / A.S. Chajnikova, L.A. Orlova, N.V. Popovich // Zhurnal prikladnoj himii [Journal of Applied Chemistry]. — 2015. — № 88(1). — P. 21-30. [in Russian]

11. Judina E.V. Sovremennye tehnologii povyshenija effektivnosti i kachestva mehanicheskoj obrabotki polimernyh kompozitsionnyh materialov, ispol'zuemyh v raketno-kosmicheskoj tehnike [Modern Technologies for Improving the Efficiency and Quality of Mechanical Processing of Polymer Composite Materials Used in Rocket and Space Technology] / E.V. Judina // Innovacii. Nauka. Obrazovanie [Innovation. Science. Education]. — 2020. — № 22. — P. 323-332. [in Russian]

12. Kukartsev V.N. Primenenie kompozitsionnyh materialov v stroitel'nyh konstruktsijah s ispol'zovaniem 3D-tehnologij [Application of Composite Materials in Building Structures Using 3D Technologies] / V.N. Kukartsev, E.V. Muruzina // Social'no-jekonomicheskie i tehnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizacija [Socio-economic and Technical Systems: Research, Design, Optimization]. — 2020. — № 2(85). — P. 101-112. [in Russian]

13. Sachkova S.I. Usilenie zhelezobetonnyh konstruktsij kompozitsionnym materialom – ugleplastikom [Reinforcement of Reinforced Concrete Structures with Composite Material – Carbon Fiber] / S.I. Sachkova, E.I. Lekomtseva // Fotinskie chtenija [Fotinsky Readings]. — 2015. — № 1(3). — P. 70-73. [in Russian]

14. Starcev V.O. Vliyanie naturny`x i uskorenny`x klimaticheskix ispy`tanij na prochnost` nanomodificirovannogo ugleplastika [Influence of Full-scale and Accelerated Climatic Tests on the Strength of Nanomodified Carbon Fiber] / V.O. Starcev, A.M. Kogan, A.A. Nechaev // Polimernye kompozicionnye materialy i proizvodstvennye texnologii novogo pokoleniya [Polymer Composite Materials and Production Technologies of a New Generation]. — Moscow, 2022. — P. 53-69. [in Russian]

15. Veshkin E.A. Issledovanie svojstv obraztsov ugleplastika, otformovannyh metodom infuzii [Investigation of the Properties of CFRP Samples Molded by the Infusion Method] / E.A. Veshkin, V.I. Postnov, V.V. Semenychev et al. // Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov [Factory Laboratory. Material Diagnostics]. — 2020. — Vol. 86. — № 3. — P. 39-43. [in Russian]

16. Zhivotov D.A. Perspektivnye tehnologii additivnogo proizvodstva stenovoj opalubki iz ugleplastika [Promising Technologies for Additive Manufacturing of CFRP Wall Formwork] / D.A. Zhivotov, Ju.I. Tilinin // Inzhenerno-stroit. vestnik Prikaspija [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea]. — 2022. — № 2(40). — P. 32-36. [in Russian]

17. Chernjavskij V.L. Primenenie ugleplastikov dlja usilenija zhelezobetonnyh konstruktsij promyshlennyh zdanij [The Use of Carbon Fiber for Strengthening Reinforced Concrete Structures of Industrial Buildings] / V.L. Chernjavskij, E.Z. Aksel'rod // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Construction]. — 2004. — № 3. — P. 37-38. [in Russian]

18. Pat. 192667 Russian Federation, IPC E01D 1/00. Proletnoe stroenie povyshennoj gruzopod'emnosti iz ugleplastika universal'nyh mostovyh konstruktsij [Superstructure of Increased Load-carrying Capacity from Carbon Fiber of Universal Bridge Structures] / Strojkov V.A., Svetlov L.P., Ozornin A.A. et al.; applicant and patentee Military Academy of Logistical Support named after Army General A.V. Khrulev. — № 2019115492; appl. 2019.05.21; publ. 2019.09.25. — 8 p. [in Russian]

19. Formirovanie uglerodnoj reshetki [Formation of a Carbon Lattice] // S.R. Brothers. — 2011. — URL: https://www.srbrothers.ru (accessed: 14.06.2023). [in Russian]

20. Ata E.K.S. Ugleplastiki v upravljaemyh konstruktsijah [Ugleplastiki v upravlyaemyx konstrukciyax [CFRP in controlled structures] / E.K.S. Ata, A.G. Jur'ev, L.A. Panchenko // Vestnik Belgorodskogo gos. texnologich. un-ta im. V.G. Shuxova [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov]. — 2009. — № 3. — P. 40-42. [in Russian]

21. Uglerodnaja lenta FibArm Tape [Carbon Tape FibArm Tape] // External Reinforcement System (CBA) from Umatex. — 2020. — URL: https://fibarm.com/katalog/sva/uglerodnye_lenty (accessed: 14.06.2023). [in Russian]

22. Kornjuhin A.V. Usilenie stroitel'nyh konstruktsij kompozitnymi materialami po tehnologii vneshnego armirovanija [Strengthening Building Structures with Composite Materials Using External Reinforcement Technology] / A.V. Kornjuhin, D.R. Baisheva // Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii [Modern Scientific Research and Innovation]. — 2020. — № 1(105). — P. 11-13. [in Russian]

23. Simakov O.A. Rabota na srez ankerov na osnove uglerodnyh volokon pri vneshnem armirovanii [Work on the Cut of Anchors Based on Carbon Fibers with External Reinforcement] / O.A. Simakov, S.A. Zenin, O.V. Kudinov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Construction]. — 2019. — № 9. — P. 59-64. [in Russian]

24. SP 63.13330-2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii. Osnovnye polozhenija [Concrete and Reinforced Concrete Structures. General Provisions]. — Introduced 2019-06-20. — Moscow: Standartinform, 2019. — 124 p. [in Russian]

25. Andreeva E.L. Faktory` razvitiya neoindustrial`nogo e`ksporta v stranax bol`shoj Evrazii [Factors in the Development of Neo-industrial Exports in the Countries of Greater Eurasia] / E.L. Andreeva, A.V. Ratner, D.E. Kuzneczova // Bol`shaya Evraziya: razvitie, bezopasnost`, sotrudnichestvo [Great Eurasia: Development, Security, Cooperation]. — Moscow: Institute of Scientific Information on Social Sciences of RAS, 2020. — Iss. 3. — P. 2. — P. 616-618. [in Russian]