

Студенческий научный электронный журнал

StudArctic Forum

2022. Т. 7, № 1

Главный редактор

И. М. Суворова

Заместитель главного редактора

А. А. Малышко

Ответственный секретарь

П. С. Воронина

Редакционный совет

С. В. Волкова
М. И. Зайцева
Г. Н. Колесников
В. С. Сютёв
В. А. Шлямин

Редакционная коллегия

А. Ю. Борисов
Р. В. Воронов
Т. А. Гаврилов
Е. О. Графова
Л. А. Девятникова
А. А. Ившин
А. А. Кузьменков
Е. Н. Лузгина
Ю. В. Никонова
М. И. Раковская
А. А. Скоропадская
Е. И. Соколова
И. М. Соломещ
А. А. Шлямина

Службы поддержки

Е. В. Голубев
А. А. Малышко

Издатель

ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.
E-mail: saf@petrsu.ru
<http://saf.petrso.ru>

Scientific journal
StudArctic Forum

2022. Vol. 7, No. 1

Editor-in-Chief

Irina M. Suvorova

Deputy Editor-in-Chief

Anton A. Malyshko

Editorial secretary

Polina S. Voronina

Editorial Council

Svetlana V. Volkov
Maria I. Zaitseva
Gennadiy N. Kolesnikov
Vladimir S. Syunev
Valery A. Shlyamin

Editorial Team

Alexey Yu. Borisov
Roman V. Voronov
Timmo A. Gavrilov
Elena O. Grafova
Lyudmila A. Devyatnikova
Alexander A. Ivshin
Alexander A. Kuzmenkov
Elena N. Luzgina
Yulia V. Nikonova
Marina I. Rakovskaya
Anna A. Skoropadskaya
Evgeniya I. Sokolova
Ilya M. Solomeshch
Anastasia A. Shlyamina

Support Services

Evgeniy V. Golubev
Anton A. Malyshko

Publisher

© Petrozavodsk State University, 2012—2022

Address

33, Lenin av., 185910 Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia
E-mail: saf@petrsu.ru
<http://saf.petrso.ru>

Технологии материалов

ДОРОНИН
Александр Александрович

бакалавриат, Петрозаводский государственный университет
(Петрозаводск, Российская Федерация),
dor.oxoxo@yandex.ru

Проблема выбора материала для армирования изгибаемых элементов на примере однопролётной железобетонной балки

Научный руководитель:
Титова Светлана Алексеевна
Статья поступила: 30.03.2022;
Принята к публикации: 31.03.2022;

Аннотация. Поставлена проблема выбора армирования железобетонной балки между полимерной композитной и обычной стальной арматурой. Рассмотрены документы для расчёта. Произведены расчёты армирования балки разными видами арматуры. Определены стоимости армирования. Произведён анализ результатов.
Ключевые слова: стальная арматура, полимерная композитная арматура, сравнение затрат

Для цитирования: Доронин А. А. Проблема выбора материала для армирования изгибаемых элементов на примере однопролётной железобетонной балки// StudArctic Forum. 2022. Т. 7, № 1. С. 55—60.

Введение

В конце 2020 года произошло значительное повышение цен на арматуру. Так с 48490 руб./тонна на 20 сентября 2020 года [ГОСТ «Металл»] до 82490 руб./тонна на 28 декабря 2020 года [ГОСТ «Металл»] увеличилась цена на стальную арматуру диаметром 12 миллиметров класса А500. В строительстве арматура играет важную роль, ни одна стройка не обходится без неё, поэтому, чтобы снизить стоимость готовой продукции, можно обратиться к альтернативному варианту при армировании бетонных конструкций. Одним из них может стать применение полимерной композитной арматуры.

Цель и задачи. Целью данного исследования является определить возможность и целесообразность применения полимерной арматуры в качестве замены её стального аналога для однопролётных балочных конструкций. Для этого для одной и той же схемы армирования и загрузки (рис. 1) произведём расчёт армирования из стали и полимерного композита. Геометрические требования, требования к армированию установлены согласно действующим нормам (рис. 2) [ГОСТ 31938-2012; СП 295.1325800.2017; СП 63.13330.2018].

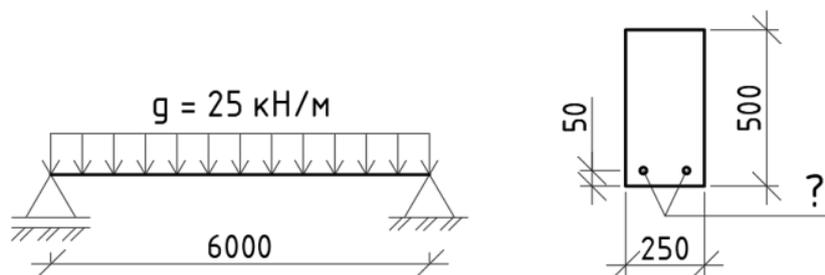


Рис. 1. Схема армирования и загрузки балки

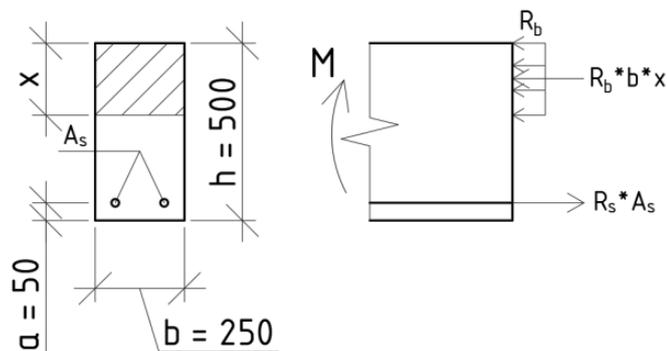


Рис. 2 - Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого железобетонного элемента [СП 63.13330.2018]

Расчет будем вести по нормальному сечению и предельным состояниям первой группы [5].

Бетон для рассматриваемой балки принят - тяжёлый, класса В15.

Выбор вида арматуры для сравнения основан на приблизительном равенстве расчетных сопротивлений растяжению.

Стальную арматуру примем горячекатаную, периодического профиля, класса А500.

Полимерную композитную арматуру примем комбинированную.

Расчетная часть.

Расчет армирования стальной арматурой:

Арматура класса А500

Расчётное сопротивление бетона класса В15 сжатию (призмная прочность) $R_b = 8,5 \text{ МПа}$ [СП 63.13330.2018].

Расчётное сопротивление арматуры класса А500 $R_s = 435 \text{ МПа}$ [СП 63.13330.2018]

В данном случае изгибающий момент в балке от внешней нагрузки равняется предельному изгибающему моменту, который может быть воспринят сечением элемента.

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = 112,5 \text{ кНм}$$

$g = 25 \text{ кН/м}$ – равномерно распределенная нагрузка;

$l = 6 \text{ м}$ – расстояние между закреплениями балки.

Определяем высоту сжатой зоны сечения балки. Параметр (α_m). Для этого в формуле по нахождению предельного изгибающего момента заменим отношение высоты сжатой зоны к рабочей высоте, на относительную высоту сжатой зоны [СП 63.13330.2018]:

$$M = R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} \right); \frac{x}{h_0} = \xi$$

$$M = R_b \cdot b \cdot h_0^2 \cdot \xi \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi); \alpha_m = \xi \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi)$$

$$M = R_b \cdot b \cdot h_0^2 \cdot \alpha_m$$

$$\alpha_m = \frac{M}{\gamma_{b1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2} = 0,290$$

$M = 112,5 \text{ МПа}$ - изгибающий момент в балке;

$\gamma_{b1} = 0,9$ - коэффициент условия работы, учитывающий длительность действия нагрузки [5];

$R_b = 8,5 \text{ МПа}$ - расчётное сопротивление бетона сжатию [СП 63.13330.2018];

$b = 250 \text{ мм}$ - ширина балки;

h_0 - рабочая высота сечения $h_0 = h - a = 500 - 50 = 450 \text{ мм}$.

Относительная высота сжатой зоны.

$$\alpha_m = \xi \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi)$$

$$\xi = 1 \pm \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_m}$$

$\xi > 1$ – противоречит физическому смыслу, следовательно:

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_m} = 0,352$$

$\alpha_m = 0,290$ - параметр.

Проверяем условие, ограничивающее высоту сжатой зоны. Упругая деформация арматуры, соответствующая пределу текучести [СП 63.13330.2018].

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = 0,00217$$

$R_s = 435 \text{ МПа}$ - расчётное сопротивление арматуры класса А500 [СП 63.13330.2018];

$E_s = 200000 \text{ МПа}$ - модуль упругости арматуры класса А500 [СП 63.13330.2018].

Граничная относительная высота сжатой зоны [СП 63.13330.2018].

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = 0,551$$

$\varepsilon_{s,el} = 0,00217$ - относительная деформация арматуры;

$\varepsilon_{b2} = 0,0042$. - относительная деформация тяжелого бетона при длительном действии нагрузки. При относительной влажности воздуха окружающей среды равной выше 75% [СП 63.13330.2018].

Условие $\xi = 0,352 \leq \xi_R = 0,551$ выполняется.

Требуемое сечение арматуры. Для этого в формуле по определению предельного изгибающего момента вынесем выражение $R_b \cdot b$ в левую часть, а все остальное в правую. То же самое сделаем в формуле по определению высоты сжатой зоны. Дальше из условия, что левые части двух уравнений равны между собой, приравняем их правые части и выразим площадь арматуры [СП 63.13330.2018].

$$M = R_b \cdot b \cdot h_0^2 \cdot \xi \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi) \rightarrow R_b \cdot b = \frac{M}{h_0^2 \cdot \xi \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi)}$$

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b} \rightarrow R_b \cdot b = \frac{R_s \cdot A_s}{x}$$

$$\frac{M}{h_0^2 \cdot \xi \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi)} = \frac{R_s \cdot A_s}{x}$$

$$A_s = \frac{M}{R_s \cdot h_0 \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi)} = 697 \text{ мм}^2$$

$M = 112,5 \text{ МПа}$ - изгибающий момент в балке;

$R_s = 435 \text{ МПа}$ - расчётное сопротивление арматуры [СП 63.13330.2018];

$h_0 = 450 \text{ мм}$ - рабочая высота сечения;

$\xi = 0,352$ - относительная высота сжатой зоны.

Принимаем 2Ø22А500 с $A_s = 760 \text{ мм}^2$

Расчет армирования полимерной композитной арматурой:

Арматура комбинированная (АКК)

Расчётное сопротивление бетона класса В15 сжатию (призменная прочность)
 $R_b = 8,5 \text{ МПа}$ [СП 63.13330.2018]

Расчётное сопротивление арматуры АКК: Предел прочности при растяжении этой арматуры $R_{f,n} = 1000 \text{ МПа}$. При расчете конструкции по предельным состояниям первой группы на действие только постоянных и длительных нагрузок расчетное значение

сопротивления растяжению композитной полимерной арматуры следует определять по формуле [СП 295.1325800.2017]:

$$R_f = R_{f,n} \cdot \gamma_{f,l} = 400 \text{ МПа}$$

$R_{f,n} = 1000 \text{ МПа}$ - предел прочности при растяжении арматуры АКК [СП 295.1325800.2017];

$\gamma_{f,l} = 0,4$ - коэффициент снижения сопротивления растяжению композитной полимерной арматуры при длительном действии нагрузки [СП 295.1325800.2017].

Изгибающий момент в балке (идентично с первым расчётом).

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{25 \cdot 6^2}{8} = 112,5 \text{ кНм}$$

Определяем высоту сжатой зоны сечения балки. Параметр (идентично с первым расчётом).

$$\alpha_m = \frac{M}{\gamma_{b1} \cdot R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{112,5 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 8,5 \cdot 250 \cdot 450^2} = 0,290$$

Относительная высота сжатой зоны (идентично с первым расчётом).

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_m} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,290} = 0,352$$

Проверяем условие, ограничивающее высоту сжатой зоны. Упругая деформация арматуры, соответствующая пределу текучести.

$$\varepsilon_f = \frac{R_f}{E_f} = 0,004$$

$R_f = 400 \text{ МПа}$ - расчётное сопротивление комбинированной арматуры [СП 295.1325800.2017];

$E_s = 100000 \text{ МПа}$ - модуль упругости комбинированной арматуры [СП 295.1325800.2017].

Граничная относительная высота сжатой зоны.

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_{b2}}} = 0,41$$

$\varepsilon_f = 0,004$ - относительная деформация арматуры;

$\varepsilon_{b2} = 0,0042$ - относительная деформация тяжелого бетона при длительном действии нагрузки. При относительной влажности воздуха окружающей среды равной выше 75% [5].

Условие $\xi = 0,352 \leq \xi_R = 0,41$ выполняется.

Требуемое сечение арматуры.

$$A_f = \frac{M}{R_f \cdot h_0 \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi)} = \frac{112,5 \cdot 10^6}{400 \cdot 450 \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,352)} = 758 \text{ мм}^2$$

$M = 112,5 \text{ МПа}$ - изгибающий момент в балке;

$R_f = 400 \text{ МПа}$ - расчётное сопротивление арматуры [4];

$h_0 = 450 \text{ мм}$ - рабочая высота сечения;

$\xi = 0,352$ - относительная высота сжатой зоны.

Принимаем 2Ø22АКК с $A_f = 760 \text{ мм}^2$

Результаты и обсуждение

По расчёту мы получили одинаковые сечения арматуры разных видов. Для сравнения стоимости армирования найдём цены погонного метра стальной [ГОСТ «Металл»] арматуры

класса А500 и комбинированной полимерной [Армпласт] арматуры диаметром 22 миллиметра.

Таблица 1. Сравнение стоимости армирования балки

	Стальная арматура класса А500	Комбинированная полимерная арматура
Цена погонного метра, руб.	192	139
Цена армирования балки, руб.	2304	1668

Разница в стоимости армирования составляет 27,6%.

Вывод

Армирование описанной выше однопролётной железобетонной балки при помощи комбинированной полимерной арматуры оказалось возможно и даже дешевле по сравнению со стальной. Поэтому использование её в таких конструкциях можно считать целесообразным, однако стоит обратить внимание на то, что при необходимости армирования каркасами применение полимерной арматуры затрудняется в связи с невозможностью устройства сварного соединения стержней, для этого материала предусматривается только её вязка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Армпласт [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://arm-plast.ru/>. (дата обращения: 20.03.22)

ГОСТ «Металл» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://gostmetal.ru/>. (дата обращения: 17.03.22).

ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций».

СП295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования».

СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции».

Materials technology

Alexander A. DORONIN

bachelor, Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russian Federation),
dor.oxoxo@yandex.ru

The material selection problem for the reinforcement of bending elements the case of the single-span iron beam

Scientific adviser:

Svetlana A. Titova

Reviewer: A. Shljamina

Paper submitted on: 03/29/2022;

Accepted on: 03/30/2022;

Abstract. The selection problem of reinforcement the iron beam between polymer composite reinforcement and ordinary steel one is posed. The calculation documents are reviewed. The calculations of reinforcement with various types fixtures are made. The reinforcement costs are determined. The analyses of the results is made.

Keywords: steel reinforcement, polymer composite reinforcement, cost comparison

For citation: Doronin A. A. The material selection problem for the reinforcement of bending elements the case of the single-span iron beam. *StudArctic Forum*. 2022; 7(1): 55—60.

REFERENCES

Armplast [Electronic resource] // Access mode: <https://arm-plast.ru> /. (date of reference: 20.03.22)

GOST "Metal" [Electronic resource] // Access mode: <https://gostmetal.ru> /. (date of application: 17.03.22).

GOST 31938-2012 "Composite polymer reinforcement for reinforcement of concrete structures".

SP 295.1325800.2017 "Concrete structures reinforced with polymer composite reinforcement. Design rules".

SP 63.13330.2018 "Concrete and reinforced concrete structures".