

УДК: 624.012
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.11
EDN: IPUFWM



Расчет сталежелезобетонной балки на основе двухлинейной диаграммы деформирования

Илшат Т. Мирсаяпов¹, И. М. Гиматдинов¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация *Постановка задачи.* С развитием строительства становится актуальным вопрос проектирования большепролетных зданий и сооружений. Одним из вариантов решения данного вопроса является использование сталежелезобетонных конструкций, ввиду их преимущества в жесткости и прочности. В данной работе рассматривается сталежелезобетонная балка нового сечения, которая позволяет проектировать данные конструкции без использования стэд-болтов, а также определять их несущую способность.

Цель работы заключается в разработке методики расчета сталежелезобетонных конструкций диаграммным методом.

Задачи работы: Изучить в нормативной базе двухлинейную диаграмму деформирования, принцип ее построения, определить зависимость относительных деформаций и напряжений. На основе диаграммы деформирования материалов предложить методику расчета сталежелезобетонной балки.

Результаты. Предложенная методика позволяет определить несущую способность балки

Выводы. Разработанная методика позволяет аналитически спрогнозировать, а также рассчитать данные конструкции на предмет предельных моментов, воспринимаемых ими.

Ключевые слова: сталежелезобетон, сталежелезобетонные конструкции, сталежелезобетонная балка, расчет сталежелезобетонных конструкций

Для цитирования: Мирсаяпов Илшат Т., Гиматдинов И.М. Расчет сталежелезобетонной балки на основе двухлинейной диаграммы деформирования // Известия КГАСУ, 2024, № 3(69), с. 118-129, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.11, EDN: IPUFWM

Calculation of a steel-reinforced concrete beam based on a two-line deformation diagram

Ishat T. Mirsayapov¹, I. M. Gimatdinov¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

Abstract. *Statement of the problem.* With the development of construction, the issue of designing long-span buildings and structures becomes relevant. One of the options for solving this issue is the use of steel-reinforced concrete structures, due to their advantages in rigidity and strength. This paper examines a steel-reinforced concrete beam of a new section, which allows designing these structures without the use of stud bolts and determining their load-bearing capacity.

The purpose of the work is to develop a method for calculating steel-reinforced concrete beams based on a two-line deformation diagram.

The objectives of the work are to study the two-line deformation diagram in the regulatory framework, the principle of its construction, to determine the dependence of relative deformations and stresses, to propose a method for calculating a steel-reinforced concrete beam based on the material deformation diagram.

Results. The proposed method allows determining the load-bearing capacity of the beam.

Conclusions. The developed methodology makes it possible to analytically predict and also calculate these structures in terms of the limiting moments perceived by them.

Keywords: steel-reinforced concrete, steel-reinforced concrete structures, steel-reinforced concrete beam, calculation of steel-reinforced concrete structures

For citation: Mirsayapov Ilshat T., Gimatdinov I.M. Calculation of a steel-reinforced concrete beam based on a two-line deformation diagram // News of KSUAE, 2024, № 3(69), p. 118-129, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.11, EDN: IPUFWM

1. Введение

На сегодняшний день присутствует тенденция получения новых материалов, которые могут обширно использоваться в строительстве, машиностроение и т.д. Из-за чего становится актуальным вопрос интеграции данных материалов в среду. Одним из важнейших критериев в интеграции является предсказуемость поведения того или иного материала, то есть определение его долговечности, прочности, экономичности.

Одним из материалов, которому уделяют особое внимание во всем мире является сталежелезобетон, ввиду имеющихся преимуществ по отношению к стали и бетону. Преимуществом таких конструкций является их повышенная жесткость и прочность, которые в совокупности приводят к экономии строительных материалов, и как следствие уменьшению трудоемкости процессов [1-3]. Стоит отметить, что спектр использования сталежелезобетонных балок является обширным. Сталежелезобетонные конструкции позволяют проектировать большепролетные здания и сооружения, в том числе в агрессивной среде. [4]

На сегодняшний день в нашей стране действует СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования», который регламентирует правила проектирования и расчета. В своде правил представлены сечения сталежелезобетонной балки, где стальной элемент либо полностью заделан в тело бетона, либо включается в работу с помощью стад-болтов [5-7]. По таким сечениям представлены разные варианты расчетов [8-11].

В связи с вышесказанным можно сделать вывод о том, что присутствует необходимость рассмотрения новых сечений сталежелезобетонных конструкций, которые будут снижать трудоемкость и материалоемкость строительства таких конструкций. Одним из таких решений является исключение стад-болтов и установка стали в тело бетона. Данное сечение будет работать за счет силы трения между стальным элементом, а также бетоном.

Цель работы заключается в разработке методики расчета сталежелезобетонных балок на основе двухлинейной диаграммы деформирования. Задачи исследования: изучить в нормативной базе двухлинейную диаграмму деформирования, принцип ее построения, зависимость относительных деформаций и напряжений. На основе диаграммы деформирования материалов предложить методику расчета сталежелезобетонной балки нового сечения.

2. Материалы и методы

Диаграммный метод расчета на основе нелинейной деформационной модели нормального сечения, принятый в СП 63.13330.2018 (и ранее в СНиП 52-01-2003), а так же в работе [12] является единым для расчета как по первой, так и по второй группе предельных состояний, который позволяет объективно рассчитать железобетонные и сталежелезобетонные конструкции.

Диаграммный метод расчета является универсальным, ввиду использования его как в России, так и в других странах. Еще одним отличительным фактором является, что расчет основывается по заранее заданным материалам, так как при расчете и проектировании первоначально определяется класс бетона, характеристики стального элемента.

При использовании диаграммного метода объектом расчета являются стержневые конструкции, например, балки, колонны. В нашем случае будет рассмотрена балка нового типа (с новым сечением, который не представлен в действующем своде правил).

Рассмотрим диаграмму, которая связывает между собой напряжения и относительные деформации, что дает преимущество в расчете так, как не зависит от геометрических и статических параметров конструкции (в нашем случае геометрических характеристик балки). Любая диаграмма деформирования в соответствии со сводом правил по проектированию железобетона имеет две ветви, одна для сжатой зоны, другая для растянутой и определяет зависимость между возникающими напряжениями и относительными деформациями. Для сжатия значения принимают отрицательными, для растяжения положительными.

В действующем своде правил по проектированию выделяют две диаграммы деформирования бетона: двухлинейную и трехлинейную. В данной работе рассмотрим двухлинейную диаграмму деформирования.

В расчете подразумеваем, что разрушение будет происходить по бетону, когда он достигнет предельно допустимых относительных деформаций.

Рассмотрим сталежелезобетонную балку представленную на рис. 1

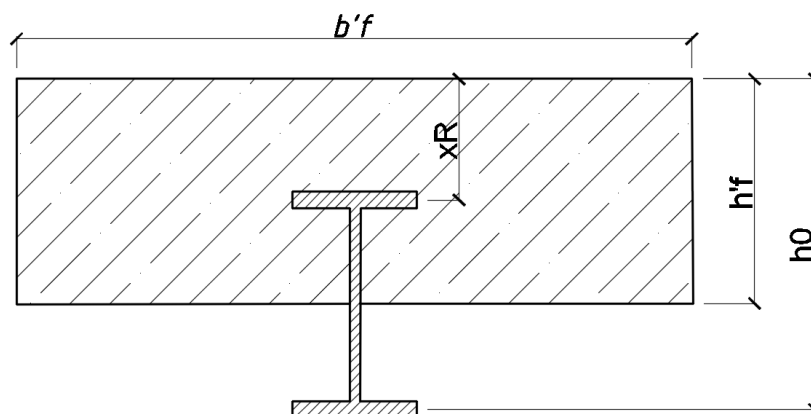


Рис. 1. Рассматриваемое сечение сталежелезобетонной балки (иллюстрация авторов)

Fig. 1 – Considered section of a steel-reinforced concrete beam (illustration by the authors)

Примем, что разрушение бетона происходит при достижении им относительных деформаций 0,0035 в крайних фибрах сжатой зоны, ввиду того класс бетона принят В25, и данные относительные деформации являются предельными для данного класса бетона (согласно своду правил по проектированию железобетонных конструкций). На рисунке 2 представлена двухлинейная диаграмма деформирования. Для наглядной иллюстрации разницы в расчетных сопротивлениях стали и бетона была сделана одна (объединяющая) диаграмма деформирования. Справа на иллюстрации показана диаграмма для растяжения стали, слева – для сжатия бетона. Для стали и бетона рассмотрены только такие состояния поскольку подразумеваем, что бетон работает только на сжатие, а сталь на растяжение.

Относительные деформации стали равны:

$$\varepsilon_{s0} = \frac{R_s}{E_s}, \quad (1)$$

где,

R_s – расчетное сопротивление стали;

E_s – начальный модуль упругости стали;

$\varepsilon_{b2} = 0,0035$ – предельные относительные деформаций бетона при осевом сжатии для бетонов класса по прочности на сжатие В60 и ниже;

ε_{b1} – значения относительных деформаций, принимают $\varepsilon_{b1} = \frac{0,6\sigma_b}{E_b}$;

ε – значения относительных деформаций;

R_b – расчетное сопротивление бетона;
 E_b – начальный модуль упругости бетона;

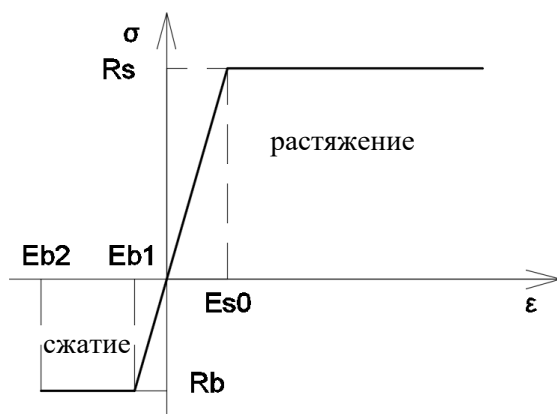


Рис. 2. Диаграмма деформирования стали и бетона (иллюстрация авторов)
 Fig. 2. Deformation diagram of steel and concrete (illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

Приведем расчетную схему сталежелезобетонной конструкций (рис. 3).

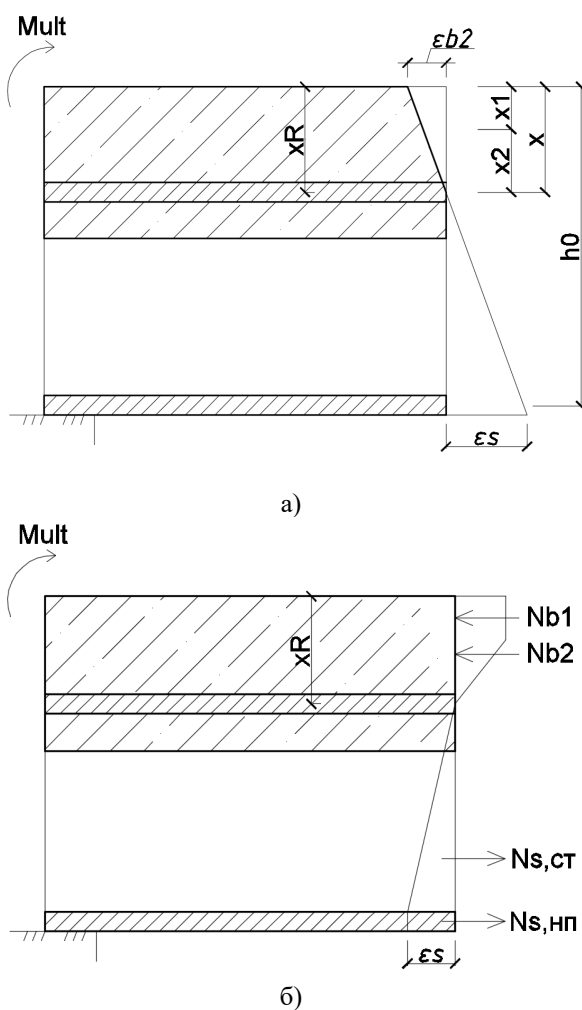


Рис. 3. а) расчетная схема распределения относительных деформаций, б) расчетная схема возникающих усилий. (иллюстрация авторов)
 Fig. 3. a) calculation diagram of the distribution of relative deformations, b) calculation diagram of the resulting forces (illustration by the authors)

По представленной расчетной модели (рис.3.б) распишем уравнение равновесия:

Для относительных деформаций справедливо выражение:

$$N_{b1} + N_{b2} = N_{s,ст} + N_{s,нп} \quad (2)$$

где

$$N_{b1} = R_b \cdot b'_f \cdot x_1$$

$$N_{b2} = R_b \cdot b'_f \cdot \frac{1}{2} x_2$$

$$N_{s,нп} = R_s \cdot A_{s,нп}$$

$$N_{s,ст} = \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст}$$

Отсюда следует:

$$R_b \cdot b'_f \cdot x_1 + R_b \cdot b'_f \cdot \frac{1}{2} x_2 = R_s \cdot A_{s,нп} + \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст} \quad (3)$$

Для определения значений x_1, x_2 рассмотрим соотношение относительных деформаций (распределение относительных деформаций по сечению балки представлены на рис. 3.а).

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b1}} = \frac{\varepsilon_{b1} \cdot (\frac{\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b1}} - 1)}{\varepsilon_{b1}} = \frac{\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b1}} - 1 \quad (4)$$

Из уравнения 3 можно определить x_1 :

$$R_b \cdot b'_f \cdot (x_1 + \frac{1}{2} x_2) = R_s \cdot A_{s,нп} + \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст} \quad (5)$$

$$(x_1 + \frac{1}{2} x_2) = \frac{R_s \cdot A_{s,нп} + \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст}}{R_b \cdot b'_f} \quad (6)$$

$$x_1 (1 + \frac{1}{2} \frac{x_2}{x_1}) = \frac{R_s \cdot A_{s,нп} + \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст}}{R_b \cdot b'_f} \quad (7)$$

$$x_1 = \frac{R_s \cdot A_{s,нп} + \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст}}{R_b \cdot b'_f} \cdot \frac{1}{(1 + \frac{1}{2} \frac{x_2}{x_1})} \quad (8)$$

$$x_1 = \frac{R_s \cdot A_{s,нп} + \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст}}{R_b \cdot b'_f} \cdot \frac{1}{\frac{x_2}{x_1} (\frac{x_1}{x_2} + \frac{1}{2})} \quad (9)$$

$$x_1 = \frac{R_s \cdot A_{s,нп} + \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст}}{R_b \cdot b'_f} \cdot \frac{\frac{x_1}{x_2}}{(\frac{x_1}{x_2} + \frac{1}{2})} \quad (10)$$

Определив соотношение описываемое в уравнении 4 можно определить соотношение $\frac{x_1}{x_2}$, исходя из чего становится возможным определение значения x_1 .

Определим предельно допустимый предельно допустимый момент, воспринимаемый сталежелезобетонной конструкции (балки) из условия равновесия.

$$\sum M = 0 \quad (11)$$

$$M_{ult} = N_{b1} \left(h_0 - \frac{x_1}{2} \right) + N_{b2} \left(h_0 - x_1 - \frac{1}{3} x_2 \right) - N_{s,ст} \cdot \frac{1}{3} (h_0 - x_R) \quad (12)$$

$$M_{ult} = R_b \cdot b'_f \cdot x_1 \left(h_0 - \frac{x_1}{2} \right) + R_b \cdot b'_f \cdot \frac{1}{2} x_2 \left(h_0 - x_1 - \frac{1}{3} x_2 \right) - \frac{1}{2} R_s \cdot A_{s,ст} (h_0 - x_R) \quad (13)$$

x_R найдем из следующего уравнения:

$$\xi_R = \frac{\chi_R}{h_0} = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_b}} \quad (14)$$

Отсюда следует:

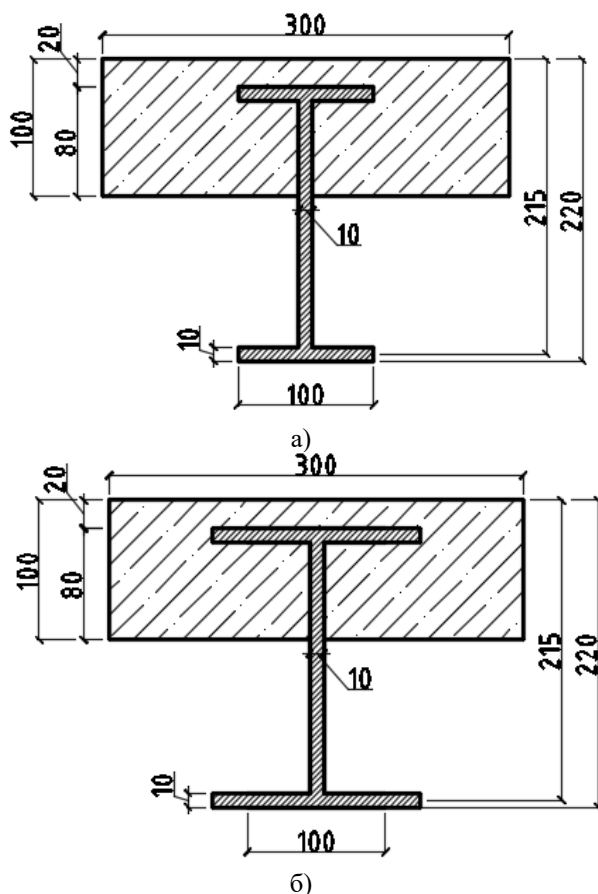
$$\chi_R = \frac{h_0}{\xi_R} = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_b}} h_0 \quad (15)$$

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_b} = \frac{\varepsilon_s}{E_s \cdot \varepsilon_{b2}} \quad (16)$$

По выше полученным формулам можно определить предельный момент, который может воспринимать сталежелезобетонная конструкция. Данная методика основана на двухлинейной диаграмме деформирования материалов, в частности бетона и стального элемента (двутавра).

Рассмотрим четыре сталежелезобетонные балки (СЖБ-1, СЖБ-2, СЖБ-3, СЖБ-4) и попробуем определить зависимость геометрических параметров на несущую способность. Сечения всех балок приведены на рисунке 4. Все исследования будем вести относительно балки СЖБ-1. Варьируемыми параметрами являются:

- 1) Ширина полки двутавра (СЖБ-2)
- 2) Высота двутавровой балки (СЖБ-3)
- 3) Высота заделки двутавровой балки (СЖБ-4)



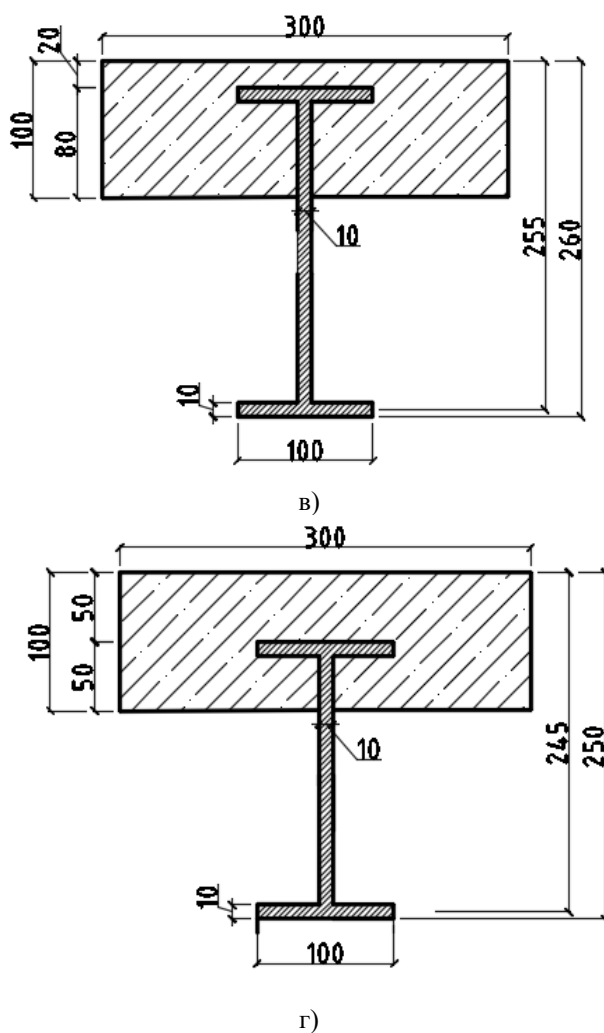


Рис. 4. Сталежелезобетонная конструкция принятая для расчета: а) СЖБ-1, б) СЖБ-2, в) СЖБ-3, г) СЖБ-4 (иллюстрация авторов)

Fig. 4 – Steel-reinforced concrete structure adopted for calculation: а) SRB-1, б) SRB-2, в) SRB-3, г) SRB-4 (illustration by the authors)

Рассмотрим сталежелезобетонную балку СЖБ-1. Для удобства расчета приняты следующие параметры:

Пролет балки $l = 4,4$ м.

Высота балки $h = \frac{1}{20}l = 220$ мм ($h_0 = 215$ мм.).

Высота железобетонной плиты $h'_f = 100$ мм.

Ширина железобетонной плиты $b'_f = 300$ мм.

Сталь С245

Бетон В25

На рисунке 4а представлено сечение рассчитываемой сталежелезобетонной конструкции.

Подставим значения в выражения 15-16 получим $\chi_R = 152$ мм.

Найдем значения x_1, x_2 из уравнений 4-10:

$$x = x_1 + x_2 \quad (17)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{0,0035 \cdot 30000}{14,5} - 1 = 6,24 \quad (18)$$

$$x_1 = 6,24x_2 \quad (19)$$

$$x_1 = \frac{210 \cdot (100 \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 195 \cdot 10)}{14,5 \cdot 300} - \frac{6,24}{(6,24 - \frac{1}{2})} = 94,2 \text{ мм} \quad (20)$$

Из выражения 19 следует, что x_2 равен:

$$x_2 = \frac{x_1}{6,24} = \frac{94}{6,24} = 15,1 \text{ мм} \quad (21)$$

Найдем предельный момент, воспринимаемой балкой, подставив все значения в выражение 13:

$$M_{ult} = 14,5 \cdot 300 \cdot 94,2 \left(215 - \frac{94,2}{2}\right) + 14,5 \cdot 300 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15,1 \left(215 - 94,2 - \frac{1}{3} \cdot 15,1\right) - \frac{1}{2} \cdot 210 \cdot 195 \cdot 10 (215 - (94,2 + 15,1)) = 50960374 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 50,96 \text{ кН} \cdot \text{м} = 5,1 \text{ т} \cdot \text{м} \quad (22)$$

Рассмотрим сталежелезобетонную балку СЖБ-2:

Пролет балки $l = 4,4 \text{ м}$.

Высота балки $h = \frac{1}{20} l = 220 \text{ мм}$ ($h_0 = 215 \text{ мм}$).

Высота железобетонной плиты $h'_f = 100 \text{ мм}$.

Ширина железобетонной плиты $b'_f = 300 \text{ мм}$.

Сталь С245

Бетон В25

Найдем значения x_1, x_2 из уравнений 4-10:

$$x = x_1 + x_2 \quad (23)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{0,0035 \cdot 30000}{14,5} - 1 = 6,24 \quad (24)$$

$$x_1 = 6,24x_2 \quad (25)$$

$$x_1 = \frac{210 \cdot (150 \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 195 \cdot 10)}{14,5 \cdot 300} - \frac{6,24}{(6,24 - \frac{1}{2})} = 118,4 \text{ мм} \quad (26)$$

Из выражения 24 следует, что x_2 равен:

$$x_2 = \frac{x_1}{6,24} = \frac{118,4}{6,24} = 19 \text{ мм} \quad (27)$$

Найдем предельный момент, воспринимаемой балкой, подставив все значения в выражение 13:

$$M_{ult} = 14,5 \cdot 300 \cdot 118,4 \cdot \left(215 - \frac{118,4}{2}\right) + 14,5 \cdot 300 \cdot \frac{1}{2} \cdot 19 \cdot \left(215 - 118,4 - \frac{1}{3} \cdot 19\right) - \frac{1}{2} \cdot 210 \cdot 195 \cdot 10 \cdot (215 - (118,4 + 19)) = 68070551 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 68,07 \text{ кН} \cdot \text{м} = 6,81 \text{ т} \cdot \text{м} \quad (28)$$

При увеличении ширины полки двутавра на 50 мм (50% в рассматриваемом варианте), произойдет увеличение по несущей способности на 33,53% (т.к. в данном случае $M_{ult} = 6,81 \text{ т} \cdot \text{м}$.)

Рассмотрим сталежелезобетонную балку СЖБ-3:

Пролет балки $l = 4,4 \text{ м}$.

Высота балки $h = \frac{1}{20}l = 260$ мм ($h_0 = 255$ мм.).

Высота железобетонной плиты $h'_f = 100$ мм.

Ширина железобетонной плиты $b'_f = 300$ мм.

Сталь С245

Бетон В25

Найдем значения x_1, x_2 из уравнений 4-10:

$$x = x_1 + x_2 \quad (29)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{0,0035 \cdot 30000}{14,5} - 1 = 6,24 \quad (30)$$

$$x_1 = 6,24x_2 \quad (31)$$

$$x_1 = \frac{210 \cdot (100 \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 235 \cdot 10)}{14,5 \cdot 300} - \frac{6,24}{(6,24 - \frac{1}{2})} = 103,9 \text{ мм} \quad (32)$$

Из выражения 30 следует, что x_2 равен:

$$x_2 = \frac{x_1}{6,24} = \frac{103,9}{6,24} = 16,65 \text{ мм} \quad (33)$$

Найдем предельный момент, воспринимаемой балкой, подставив все значения в выражение 13:

$$M_{ult} = 14,5 \cdot 300 \cdot 94,2 \left(255 - \frac{103,9}{2} \right) + 14,5 \cdot 300 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15,1 \left(255 - 103,9 - \frac{1}{3} \cdot 16,65 \right) - \frac{1}{2} \cdot 210 \cdot 235 \cdot 10 (255 - (103,9 + 16,65)) = 63877538 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 63,88 \text{ кН} \cdot \text{м} = 6,39 \text{ т} \cdot \text{м} \quad (34)$$

При увеличении высоты двутавра на 40 мм (в данном случае 18,2%), произойдет увеличение по несущей способности на 25,29% (т.к. в данном случае $M_{ult} = 6,39 \text{ т} \cdot \text{м}$).

Рассмотрим сталежелезобетонную балку СЖБ-4:

Пролет балки $l = 4,4$ м.

Высота балки $h = \frac{1}{20}l = 250$ мм ($h_0 = 245$ мм.).

Высота железобетонной плиты $h'_f = 100$ мм.

Ширина железобетонной плиты $b'_f = 300$ мм.

Сталь С245

Бетон В25

Найдем значения x_1, x_2 из уравнений 4-10:

$$x = x_1 + x_2 \quad (34)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{0,0035 \cdot 30000}{14,5} - 1 = 6,24 \quad (35)$$

$$x_1 = 6,24x_2 \quad (36)$$

$$x_1 = \frac{210 \cdot (100 \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 195 \cdot 10)}{14,5 \cdot 300} - \frac{6,24}{(6,24 - \frac{1}{2})} = 94,2 \text{ мм} \quad (37)$$

Из выражения 19 следует, что x_2 равен:

$$x_2 = \frac{x_1}{6,24} = \frac{94}{6,24} = 15,1 \text{ мм} \quad (38)$$

Найдем предельный момент, воспринимаемой балкой, подставив все значения в выражение 13:

$$M_{ult} = 14,5 \cdot 300 \cdot 94,2 \left(245 - \frac{94,2}{2}\right) + 14,5 \cdot 300 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15,1 \left(245 - 94,2 - \frac{1}{3} \cdot 15,1\right) - \frac{1}{2} \cdot 210 \cdot 195 \cdot 10(215 - (94,2 + 15,1)) = 58145102 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 58,14 \text{ кН} \cdot \text{м} = 5,81 \text{ т} \cdot \text{м} \quad (39)$$

При изменении высоты заделки с 20 мм на 50 мм, произойдет увеличение по несущей способности на 13,92% (т.к. в данном случае $M_{ult} = 5,81 \text{ т} \cdot \text{м}$.)

Анализ полученных результатов

№ п/п	Балка	Высота заделки двутавровой балки (мм)	Ширина полки двутавра (мм)	Высота двутавра (мм)	Несущая способность (т*м)	Увеличение несущей способности относительно СЖБ-1 (%)
1	СЖБ-1	20	100	200	5,1	-
2	СЖБ-2	20	150	200	6,81	33,53
3	СЖБ-3	20	100	240	6,39	25,29
4	СЖБ-4	50	100	200	5,81	13,92

Варьирование геометрическими параметрами двутавра позволяют увеличить несущую способность от 25,29-33,53% (в рамках рассматриваемого сечения и изначальных данных). Сохраняя изначально заданные параметры, но меняя высоту заделки двутавра в тело бетона, можно увеличить несущую способность на 13,92%, при этом необходимо также дополнительно проверить бетонную плиту на растрескивание по верхней фибре. Также стоит отметить, что при монтаже и проектировании также нужно учитывать, чтобы стальной элемент не терял местную устойчивость после нагружения конструкции. Местную устойчивость можно обеспечить путем установки ребер жесткости. Ребра жесткости устанавливаются и рассчитываются по своду правил по проектированию стальных конструкций.

4. Заключение

1. По поставленным задачам была представлена методика расчета сталежелезобетонных конструкций нового сечения. Предложенная методика позволяет аналитически спрогнозировать, а также рассчитать данные конструкции на предмет предельных моментов, воспринимаемых ими.
2. При увеличении ширины полки двутавра на 50 мм произойдет увеличение по несущей способности на 33,53%.
3. При увеличении высоты двутавра на 40 мм произойдет увеличение по несущей способности на 25,29%.
4. При изменении высоты заделки с 20 мм на 50 мм, произойдет увеличение по несущей способности на 13,92%.
5. Двухлинейная диаграмма является также допустимой для принятия расчета наравне с трехлинейной диаграммой (касательно бетона). Данная диаграмма является более удобной и быстрой для расчета, но имеет некую малую погрешность по отношению к трехлинейной.

Список литературы / References

1. Кибириева Ю.А., Астафьева Н.С. Применение конструкций из сталежелезобетона. *Ekologiya and Stroitelstvo*. 2018. Номер 2, С. 27-34. DOI: 10.24411/2413-8452-2018-10004. [Kibirieva Yu.A., Astafieva N.S. The use of steel-reinforced concrete structures. *Ecology and construction*. 2018. №2, P. 27-34. DOI: 10.24411/2413-8452-2018-10004.]

2. Теплова Ж.С., Виноградова Н.А. Прочность сталежелезобетонных образцов при центральном сжатии. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. Номер 5 (32), С.29-38. [Teplova Zh.S., Vinogradova N.A. Strength of steel-reinforced concrete specimens under central compression. *Construction of buildings and structures*. 2015. № 5 (32), P. 29-38.]
3. Бабалич В.С., Андросов Е.Н. Сталежелезобетонные конструкции и перспектива их применения в строительной практике России. *Успехи современной науки*. 2017. Номер 4, С. 205-208. [Babalich V.S., Androsov E.N. Steel-reinforced concrete structures and the prospect of their application in the construction practice of Russia. *Successes of modern science*. 2017. №4, P. 205-208.]
4. Настоящий В.А., Дариенко В.В. История возникновения и практика применения сталежелезобетонных конструкций для объектов дорожного и гражданского строительства. *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*. 2014. Номер 1, С.467-470. [Nastoiashchii V.A., Darienko V.V. The history of the emergence and use of steel-reinforced concrete structures for the construction of road and nearby construction. *Modernization and scientific research in the transport complex*. 2014. №1, P. 467-470.]
5. Yuanlong Yang, Wentao Liang, Qingjie Yang, Yu Cheng. Flexural behavior of web embedded steel-concrete composite beam. *Engineering Structures*. 2021. Volume 240.
6. Yinghui Li, Huanjun Jiang, T.Y. Yang. Damage Deformation of Flexure-Yielding Steel-Reinforced Concrete Coupling Beams: Experimental and Numerical Investigation, *Advances in Civil Engineering*, 2019.
7. Du Y.; Zhang X.; Liu L.; Zhou F.; Zhu D.; Pan W. Flexural Behaviour of Carbon Textile-Reinforced Concrete with Prestress and Steel Fibres. *Polymers* 2018, 10, 98. <https://doi.org/10.3390/polym10010098>
8. Wang Y. H., Yu J., Liu J. P., & Chen Y. F. (2019). Experimental study on assembled monolithic steel-concrete composite beam in positive moment. *Engineering Structures*, 180, 494-509. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.034>
9. Isaac Montava, Ramon Irlas, Jorge Segura, Jose Maria Gadea and Ernesto Juliá. Numerical Simulation of Steel Reinforced Concrete (SRC) Joints, 2019.
10. Замалиев Ф.С., Тамразян А.Г. К расчету сталежелезобетонных ребристых плит для восстанавливаемых перекрытий. *Строительство и реконструкция*. 2021;(5):3-15. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-97-5-3-15 [Zamaliyev F.S., Tamrazyan A.G. On the calculation of steel-reinforced concrete ribbed slabs for restored floors. *Construction and reconstruction*. 2021;(5):3-15. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-97-5-3-15]
11. Dmitriev A., Novozhilov Yu., Mikhalyuk D., Lalin V. Calibration and Validation of the Menetrey-Willam Constitutive Model for Concrete; 2020; *Construction of Unique Buildings and Structures*; Volume 88 Article No 8804. DOI:10.18720/CUBS.88.4
12. Mirsayapov I., Apkhadze G. Modified trilinear stress-strain diagram of concrete designed for calculation of beams with fiberglass rebar// *STCCE-2020 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Kazan, Russia, 2020, 517, Vol. 890, 012079
13. Rabie M., Zaki W., Zaky S. STRENGTHENING STEEL I-BEAM WITH CONCRETE FLANGE. Strengthening steel I-beam with concrete flange. *Proc. of Fifth International Conference On Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering -ACSM* 2016, 4-8 DOI: 10.15224/978-1-63248-105-4-21.
14. Islam M., Ali R. Bin, Billah M. Strengthening Techniques of Steel Structure: An Overview // *World Scientific News*. 2019. Vol. 118, № 2800. P. 181–193.
15. Mirsayapov I. Endurance of reinforced concrete beams with small shear spans// © Springer Nature Switzerland AG 2020 B. Anatolijs et al. (eds.), *Proceedings of EECE 2019, Lecture Notes in Civil Engineering* – P. 763-775.

Информация об авторах

Мирсаяпов Илшат Талгатович, доктор технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: mirsayapovit@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4902-6167

Гиматдинов Ильнур Мансурович, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

E-mail: akkfok@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8280-1500

Information about the authors

Ilshat T. Mirsayapov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: mirsayapovit@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4902-6167

Ilnur M. Gimatdinov, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

E-mail: akkfok@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8280-1500