



УДК: 624.012

DOI: 10.52409/20731523_2023_2_6

EDN: ZVRIMO



Исследование сталежелезобетонной балки с частичной заделкой двутаврового сечения в бетоне на основе диаграммного метода расчета

Илшат Т. Мирсаяпов¹, И. М. Гиматдинов¹

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

Аннотация *Постановка задачи.* На сегодняшний день в своде правил, которые действуют у нас в стране отсутствуют нормативные документы специально для проектирования сталежелезобетонных конструкций, а именно, когда стальная двутавровая балка заделана в тело бетона. В связи с этим становится актуальным вопрос изучения новых типов сталежелезобетонных конструкций. На основании известных законов применяемых к стальным и железобетонным конструкциям становится возможным изучение новых методик расчета.

Цель работы заключается в разработке методики расчета сталежелезобетонных балок нового типа.

Задачи работы: Рассмотреть трехлинейную диаграмму деформирования, приведенную в нормативной документации и на основании данной диаграммы привести формулы, описывающие работу сталежелезобетонной конструкции нового типа. На основе данных задач разработать методику расчета сталежелезобетонных балок нового типа.

Результаты. Представленная методика помогает рассчитать предельную нагрузку, которую выдерживает сталежелезобетонная конструкция.

Выводы. Представленная методика расчета помогают аналитическим методом рассчитать сталежелезобетонную конструкцию нового типа, рассматривая различные варианты вычисления. Диаграммный метод описывает работу конструкции, т.к. основывается на методе расчета по заданным материалам.

Ключевые слова: сталежелезобетон, сталежелезобетонная балка, аналитические методы расчета, методика расчета сталежелезобетонных конструкций.

Для цитирования: Мирсаяпов Илшат Т., Гиматдинов И.М. Исследование сталежелезобетонной балки с частичной заделкой двутаврового сечения в бетоне на основе диаграммного метода расчета // Известия КГАСУ 2023 №2(64) с.6-16, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_6, EDN: ZVRIMO

Investigation of a steel-reinforced concrete beam with a partial embedment of an I-section in concrete based on a diagrammatic calculation method

Ilshat T. Mirsayapov¹, I. M. Gimatdinov¹

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

Abstract. *Problem statement.* To date, in the set of rules that are in force in our country, there are no regulatory documents specifically for the design of steel-reinforced concrete structures, namely, when a steel I-beam is embedded in concrete. In this regard, the issue of studying new

types of steel-reinforced concrete structures becomes relevant. Based on the known laws applied to steel and reinforced concrete structures, it becomes possible to study new calculation methods. The purpose of the work is to develop methods for calculating a new type of steel-reinforced concrete beams. Tasks of the work are to consider a three-line deformation diagram given in the normative documentation and, based on this diagram, give formulas that describe the operation of a new type of steel-reinforced concrete structure.

Results. The presented technique helps to calculate the maximum load that a steel-reinforced concrete structure can withstand.

Conclusions. The presented calculation method helps to analytically calculate a new type of steel-reinforced concrete structure, considering various calculation options. The diagram method describes the operation of the structure, since it is based on the calculation method for given materials.

Keywords: steel-reinforced concrete, steel-reinforced concrete beam, analytical calculation methods, calculation method for steel-reinforced concrete structures.

For citation: Mirsayapov Ilshat T., Gimatdinov I.M. Investigation of a steel-reinforced concrete beam with a partial embedment of an I-section in concrete based on a diagrammatic calculation method // News KSUAE 2023 No. 2(64) p. 6-16, DOI: 10.52409/20731523_2023_2_6, EDN: ZVRIMO

1. Введение

На сегодняшний день развитию и изучению сталежелезобетонных конструкций уделяют большое внимание во всем мире, ввиду того, что является новым и своего рода уникальным материалом так, как имеет преимущества стальных и железобетонных конструкций. По этой причине сталежелезобетонные конструкции оптимально работают и в сжатой, и в растянутой зонах [1,2]. Преимуществом таких конструкций является повышенная жесткость и прочность, что приводит к экономии строительных материалов, и как следствие уменьшению трудоемкости процессов [1-4].

С 1 июля 2017 года действует СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования». В указанном своде правил представлены девять сечений, нормирующих проектирование сталежелезобетонных конструкций.

Стоит отметить, что в представленных вариантах сталежелезобетонных конструкций, стальной элемент либо полностью заделан в тело бетона, либо является отдельным элементом конструкции, которая включается в работу с помощью анкеров. В указанном своде правил не рассматривается сечение, где стальная балка была бы частично заделана в тело бетона [5-7]. В связи с этим вопрос изучения работы сталежелезобетонных конструкций для случая, когда двутавровая балка частично заделана в тело бетона, является весьма актуальным в настоящее время, так как такие конструкции обладают меньшей трудоемкостью, а также материалоемкостью.

По сечениям комбинированных балок, которые приводятся в своде правил СП 266.1325800.2016, проводилось много исследований как в России, так и в других странах. На основании этих экспериментов были представлены варианты расчетов сталежелезобетонных балок [8-11].

Цель работы заключается в разработке методики расчета сталежелезобетонных балок нового типа. Задачи исследования: рассмотреть трехлинейную диаграмму деформирования, приведенную в нормативной документации и на основании данной диаграммы привести формулы, описывающие работу сталежелезобетонной конструкции нового типа.

2. Материалы и методы

Основой расчета любой железобетонной или сталежелезобетонной конструкции является получение ее напряженно-деформированного состояния (НДС). Данная задача сводится к точному определению перемещений и усилий (деформаций и перемещений)

во всех точках конструкции. Из-за пластичности материалов при достижении площадки текучести напряжения распределяются нелинейно. Для описания НДС в какой-либо точке или сечении обычно используют диаграммы деформирования материалов (бетона и стали).

Однако в общем виде задача по получению НДС становится аналитически практически нерешаемой, по этой причине прибегают к различным численным методам, автоматизированным на электронно-вычислительной машине (ЭВМ). Наиболее универсальным из них на сегодняшний день является метод конечных элементов (МКЭ). Однако в ряде случаев его использование не всегда удобно по следующим причинам:

- необходимо изучать специальные программные комплексы, в ряде случаев несколько;

- зачастую отсутствует возможность дополнения программы из-за закрытости кода или из-за незнания языков программирования;

- в большинстве случаев проектировщик на практике имеет дело с конструкциями, работа под нагрузкой которых определяется одним (максимум двумя) опасными сечениями, поэтому в более детальной оценке НДС остальных сечений нет необходимости.

Этих недостатков лишен диаграммный метод 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]. Он является единым для расчета как по первой, так и по второй группе предельных состояний.

Диаграммный метод расчета:

На основе трехлинейной диаграммы деформирования материалов представим формулы для расчета (аналитическим методом) сталежелезобетонных конструкций. Рассмотрим сталежелезобетонную конструкцию представленную на рис. 1

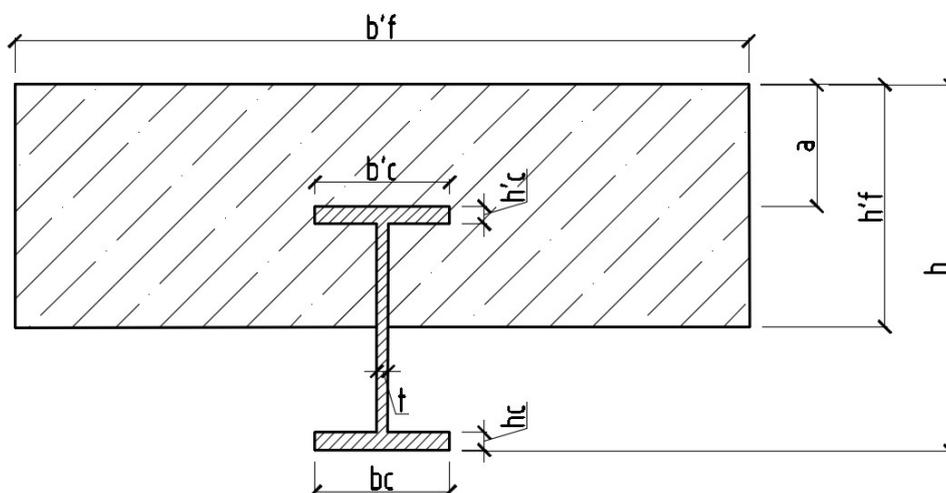


Рис. 1. Сталежелезобетонная конструкция (иллюстрация авторов)

Fig. 1 – Steel-reinforced concrete structure (authors illustration)

Разрушение бетона происходит при достижении им относительных деформаций 0,0035 в крайних фибрах сжатой зоны. При этом считается справедливым закон плоского поворота расчетного сечения, а следовательно линейное распределение деформаций по высоте элемента. Расчет ведется на основе трехлинейной диаграммы деформирования (Рис. 2.). На диаграмме деформирования можно выделить 3 характерных участка работы бетона. Учитывая линейное распределение деформаций по высоте и диаграмму деформирования (Рис. 2а) эпюру распределения напряжений в бетоне для сечения 1-1 можно представить как на (Рис. 2б) (каждый участок соответствует указанному цвету).

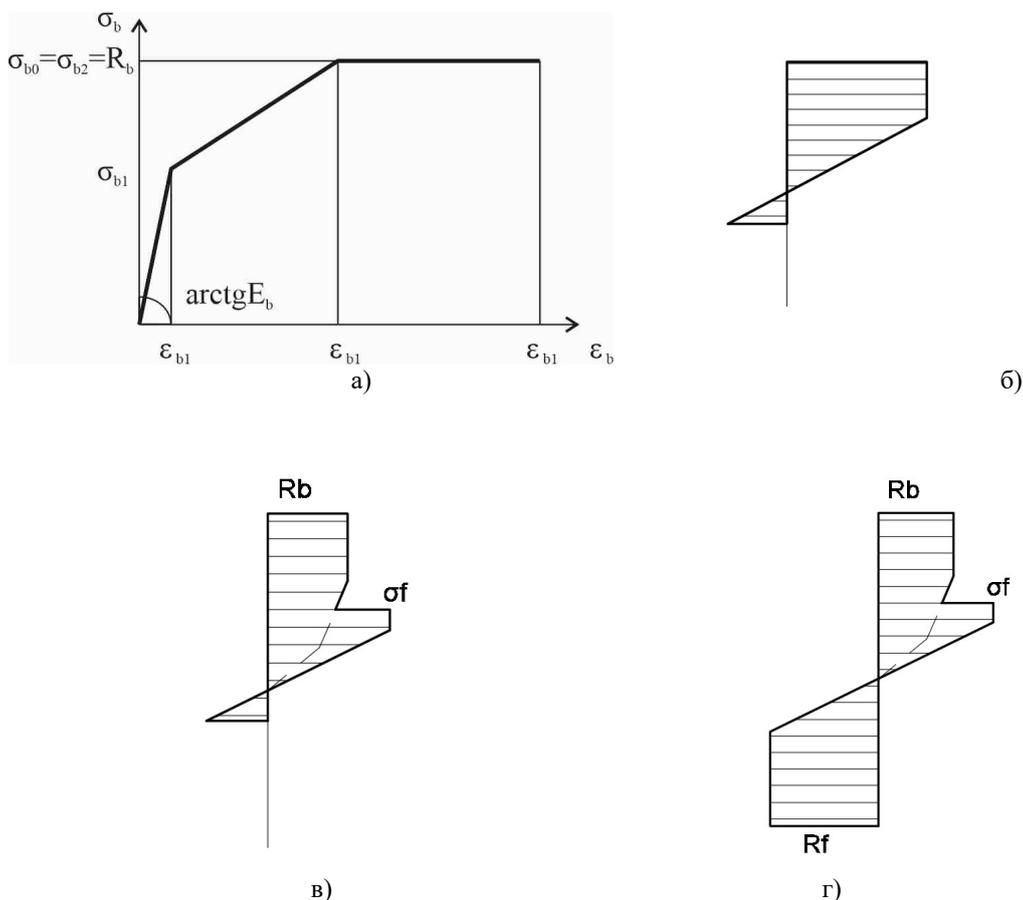


Рис. 2 – а) диаграмма деформирования бетона, б) распределение эпюр напряжений в сечении 1-1, в) распределение эпюр напряжений в сечении 2-2, г) распределение эпюр напряжений в сечении 3-3 (иллюстрация авторов)

Fig. 2. a) diagram of concrete deformation, b) distribution of stress diagrams in section 1-1, c) distribution of stress diagrams in section 2-2, d) distribution of stress diagrams in section 3-3 (authors illustration)

$$\sigma_{b0} = \sigma_{b2} = R_b \quad \epsilon_{b1} \quad \sigma_{b1}$$

Приведем формулы для расчета напряжений возникающих в бетоне:

-при $0 \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b1}$

$$\sigma_b = E_b \epsilon_b \quad (1)$$

-при $\epsilon_{b1} < \epsilon_b < \epsilon_{b0}$

$$\sigma_b = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \frac{\epsilon_b - \epsilon_{b1}}{\epsilon_{b0} - \epsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] R_b \quad (2)$$

-при $\epsilon_{b0} \leq \epsilon_b \leq \epsilon_{b2}$

$$\sigma_b = R_b \quad (3)$$

где, $\epsilon_{b0} = 0,002$ – предельные относительные деформаций бетона при осевом сжатии;

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

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

ϵ_b – значения относительных деформаций, согласно (5);

σ_b – сжимающие напряжения бетона;

σ_f – сжимающие напряжения стали;

E_b – начальный модуль упругости бетона;

E_f – начальный модуль упругости стали.

В сечениях 2-2 и 3-3 происходит совместная работа бетона стальной балки.

Распределение напряжений в бетоне описываются выражениями (1-3).

Распределение напряжений в стальном профиле при $0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}$:

$$\sigma_b = E_b \varepsilon_b \quad (4)$$

В местах контакта бетона и стали справедливо условие совместности деформаций $\varepsilon_f = \varepsilon_b = \varepsilon$, т.к. обеспечена их совместная работа (считаем, что соединение является жестким или имеет некий малый коэффициент трения между материалами, чем можно пренебречь). При $0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}$:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b} \text{ и } \varepsilon_f = \frac{\sigma_f}{E_f}. \quad (5)$$

Отсюда следует:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_b \cdot E_f}{E_b}. \quad (6)$$

При $\varepsilon_{b1} < \varepsilon_b < \varepsilon_{b0}$ и при $\varepsilon_{b0} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$

$$\sigma_f = \frac{E_f}{E_{b1}} \cdot \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] R_b \quad (7)$$

где

$$E_{b1} = \operatorname{arctg} \frac{0,4R_b}{0,002 - \frac{0,6R_b}{E_b}} \quad (8)$$

При $\varepsilon_{b0} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$

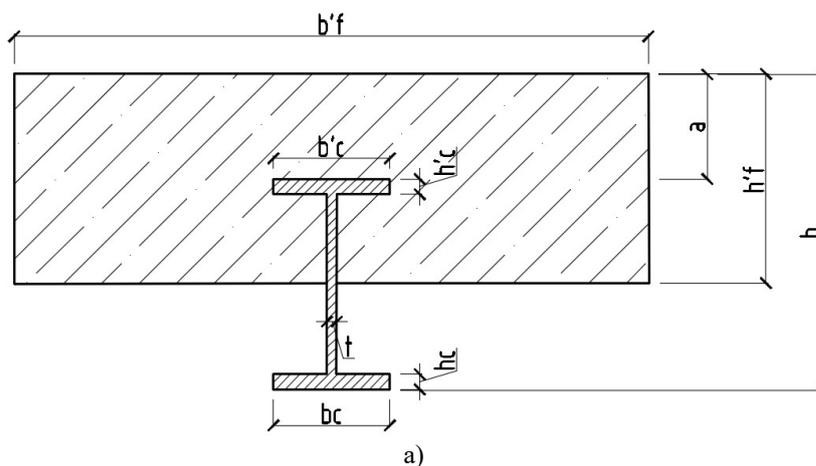
$$\sigma_f = 0,0035E_f \quad (9)$$

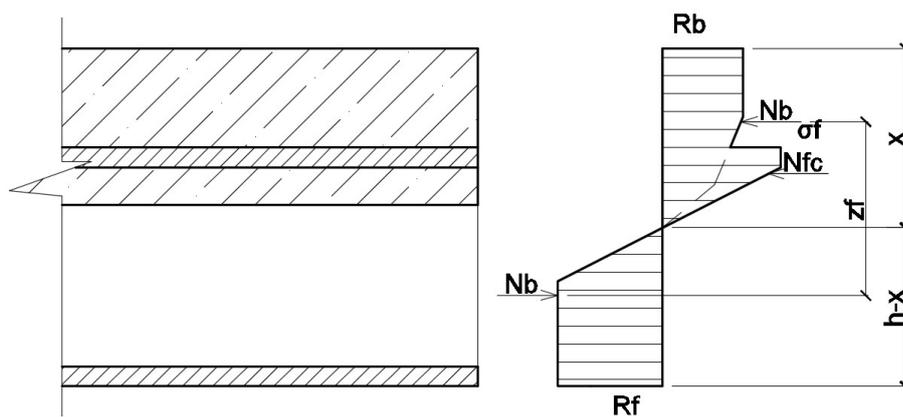
Из (6-7) следует, что в эпюре распределения нормальных напряжений в сжатой зоне происходит резкий скачок напряжений в зоне контакта бетона и стали на $\frac{E_f}{E_b}$ (рис.2а).

Учитывая вышеизложенное эпюры напряжений σ_b и σ_{fc} в сечении 2-2 представлены на рис 2в, для бетона, а также для стального двутавра σ_{fc} . Для сечения 3-3 – представлены на рис 2г, для бетона, а также для стального двутавра σ_{fc} .

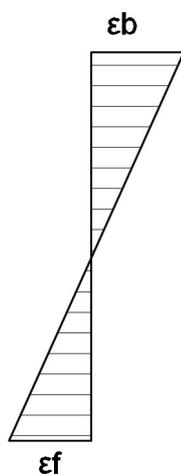
3. Результаты и обсуждение

Для нашей сталежелезобетонной конструкции (рис.3.а) считаем, что разрушение начинается при достижении крайних фибр бетона значение R_b , при $\varepsilon_b = 0,0035$.

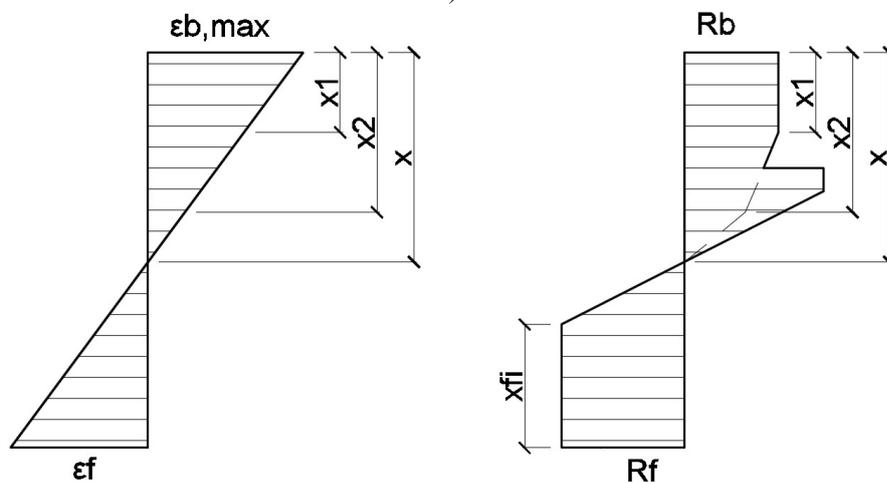




б)



в)



г)

Рис. 3. а) геометрические размеры сталежелезобетонной конструкции, б) эпюра распределений напряжений в расчетном сечении для бетона и стальной балки, в) распределение относительных деформаций по высоте, г) распределение относительных деформаций и нормальных напряжений по высоте сечения (иллюстрация авторов)

Fig. 3. а) geometric dimensions of the steel-reinforced concrete structure, б) diagram of stress distributions in the calculated section for concrete and steel beam, в) distribution of relative deformations along the height, д) distribution of relative deformations and normal stresses along the height of the section (authors illustration)

На основе диаграммы деформирования отобразим распределение относительных деформаций по высоте (рис.3.в).

Для относительных деформаций справедливо выражение:

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_f} = \frac{x}{h-x} \quad (10)$$

Отсюда следует:

$$\varepsilon_f = \varepsilon_b \frac{h-x}{x} \quad (11)$$

С изменением высоты происходит уменьшение деформаций бетона по линейному закону.

Определим высоту сжатой зоны из условия, что статический момент приведенного сечения относительной нейтральной оси равен нулю:

$$S_{red} = \frac{bx^2}{2} + vA_n(h-x) - vA_f(h-x) = 0 \quad (12)$$

Разница модулей деформаций равна:

$$v = \frac{E_b}{E_f} \quad (13)$$

Вспомогательные высоты по сжатой зоне приведены на рис.3.г

Используя диаграмму деформирования бетона и линейное изменение относительных деформаций определим x_1, x_2, x_3 :

$$\varepsilon_{b,max} = \varepsilon_2 \quad (14)$$

x_{fi} определим из условия:

$$\frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_{fi}} = \frac{h-x}{h-x-x_{fi}} \quad (15)$$

$$x_{fi} = \frac{a-1}{a} h - x \quad (16)$$

x_1 определим из условия:

$$\frac{\varepsilon_{b,max}}{\varepsilon_1} = \frac{x}{x-x_1} \quad (17)$$

x_2 определим из условия:

$$\frac{\varepsilon_{b,max}}{\varepsilon_0} = \frac{x}{x-x_2} \quad (18)$$

Исходя из этого справедливо выражение:

$$x_2 - x_1 = \sigma_b = 0,6R_b \quad (19)$$

Отсюда следует, что

$$M_{ult,c} = (R_b \cdot b'_f \cdot x_1 \cdot z_1 + 0,7R_b \cdot b'_f \cdot (x_2 - x_1) \cdot z_2 + \frac{0,6R_b}{2} \cdot b'_f \cdot (x - x_2)) \cdot z_3; \quad (20)$$

$$z_1 = \left(h - \frac{x_1}{2}\right); z_2 = \left(h - \frac{x_2 - x_1}{2}\right); z_3 = \left(h - \frac{2(x-x_2)}{3}\right); \quad (21)$$

Подставляем в (20), значения z_1, z_2, z_3 из (21)

$$M_{ult,c} = (R_b \cdot b'_f \cdot x_1 \cdot \left(\frac{h-x_1}{2}\right) + 0,7R_b \cdot b'_f \cdot (x_2 - x_1) \cdot \left(h - \frac{x_2 - x_1}{2}\right) + \frac{0,6R_b}{2} \cdot b'_f \cdot x_3) \cdot \left(h - \frac{2(x-x_2)}{3}\right) \quad (22)$$

$$M_{ult,p} = \frac{1}{2}R_f \cdot b_c \cdot h_c \cdot \left(\frac{2(h-x-h_c/2)}{3}\right) + \frac{1}{2}R_f \cdot t \cdot h_t \cdot \left(\frac{2(h-x-h_c)}{3}\right) \quad (23)$$

На основании выше полученных формул можно просчитать сталежелезобетонную конструкцию диаграммным методом. Формулы 20-21 описывают предельные моменты, которые может выдерживать рассчитываемая сталежелезобетонная конструкция.

По предложенной методике рассчитаем балку GB 2.3 и сравним полученные результаты.¹

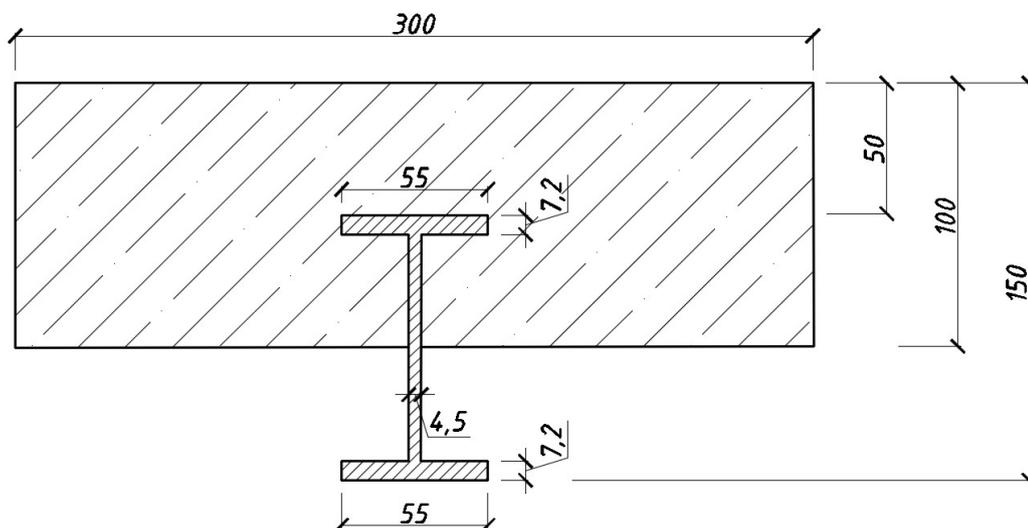


Рис. 4. Сталежелезобетонная конструкция GB2.3 (иллюстрация авторов)
Fig. 4. Steel-reinforced concrete structure GB 2.3 (authors illustration)

В формулы (10-21) подставляем свои численные значения.

Решая уравнение (12), получаем:

$$x = 65,48 \text{ мм}$$

Подставляя в выражение (10) числовые значения вычислим относительные деформации возникающие в стальном двутавре:

$$\frac{0,0035}{\varepsilon_f} = \frac{65,48}{150 - 65,48}$$

Отсюда следует $\varepsilon_f = 0,0045$

x_1 найдем из условия:

$$\frac{\varepsilon_{b,max}}{\varepsilon_1} = \frac{x}{x - x_1}$$

$$\frac{0,0035}{0,002} = \frac{65,48}{65,48 - x_1}$$

$$x_1 = 28,06 \text{ мм}$$

¹ Ильшат Т.Мирсяпов, И.М.Гиматдинов Исследование напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных балок с частичной заделкой двутавровых сечений в бетоне // Известия КГАСУ 2022 №3(61) с.56-66, DOI:10.52409/20731523_2022_3_56, EDN: FDMELF

x_2 найдем из условия:

$$\frac{\varepsilon_{b,max}}{\varepsilon_0} = \frac{x}{x - x_2}$$

$$\frac{0,0035}{0,00031} = \frac{65,48}{65,48 - x_2}$$

$$x_2 = 59,68 \text{ мм}$$

$$x = 65,48 \text{ мм}$$

Для экспериментальных образцов принимаем $R_b = 0,75\overline{R_{\text{эксп}}} = 0,75 \cdot 437 = 327,75 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 33 \text{ МПа}$. [11]

Подставляя в формулу (20) свои значения, получим:

$$\begin{aligned} M_{ult,c} &= (R_b \cdot b'_f \cdot x_1 \cdot \left(\frac{h-x_1}{2}\right) + 0,7R_b \cdot b'_f \cdot (x_2 - x_1) \cdot \left(h - \frac{x_2-x_1}{2}\right) + \frac{0,6R_b}{2} \cdot b'_f \cdot x \cdot \\ &\left(h - \frac{2(x-x_2)}{3}\right) = (33 \cdot 300 \cdot 28,06 \cdot \left(\frac{150-28,06}{2}\right) + 0,7 \cdot 33 \cdot 300 \cdot (59,68 - 28,06) \cdot \\ &\left(150 - \frac{59,68-28,06}{2}\right) + \frac{0,6 \cdot 33}{2} \cdot 300 \cdot 65,48 \cdot \left(150 - \frac{2(65,48-59,68)}{3}\right) = 75,14 \text{ кН} \cdot \text{м} \\ P_{ult} &= \left(\frac{4 \cdot M_{ult}}{l}\right) = \frac{4 \cdot 75,14}{4} = 75,14 \text{ кН} = 7,5 \text{ т.} \end{aligned}$$

Сравним полученные результаты с экспериментальными данными [13] и результатами численного эксперимента [17] (таблица):

$$\frac{P_{\text{д.м.}}}{P_{\text{эксп.}}} = \frac{7,5}{7,3} = 1,026$$

Разница вычисленных результатов составляет: $\Delta = 2,6\%$

$$\frac{P_{\text{д.м.}}}{P_{\text{ansys}}} = \frac{7,5}{6,83} = 1,1$$

Разница вычисленных результатов составляет: $\Delta = 10\%$

Таблица

Сравнение полученных результатов

Отношение значений нагрузки (численное/экспериментальное)	$\frac{P_{\text{ansys}}}{P_{\text{эксп.}}}$	$\frac{P_{\text{д.м.}}}{P_{\text{эксп.}}}$
Значения	0,94	1,026

P_{ansys} -разрушающая нагрузка, полученная при численном моделировании в ПК Ansys.¹

$P_{\text{эксп.}}$ -разрушающая нагрузка, представленная в эксперименте (полученные результаты см [13]).

$P_{\text{д.м.}}$ -разрушающая нагрузка, полученная при расчете диаграммным методом.

Таким образом, деформационная модель дает более точное значение несущей способности сталежелезобетонной конструкции.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики расчета сталежелезобетонных конструкций, рассмотренных в данной статье, на выносливость на действие многократно повторяющихся конструкций на основе научных основ теории выносливости железобетонных конструкций, изложенных в [14-15].

4. Заключение

1. На основе представленных задач была разработана методика расчета сталежелезобетонных балок нового типа. Представленная методика помогает аналитическим методом рассчитать сталежелезобетонную конструкцию нового типа.
2. Диаграммный метод описывает работу конструкции, т.к. основывается на методе расчета по заданным материалам.
3. Разница между экспериментальными данными и результатами при диаграммном методе расчета составила 2,6%. Таким образом, деформационная модель дает более точное значение несущей способности сталежелезобетонной конструкции. Представленный способ расчета через диаграмму деформирования позволяет определять сходимость результатов полученных численными методами.

Список литературы / References

1. Кибирева 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. No. 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. No. 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. *Success of modern science*. 2017. No. 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. [Real 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. No. 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. Замалиев Ф.С. Численные и натурные эксперименты преднапряженных сталежелезобетонных балок. *Вестник МГСУ*. 2018. Вып. 3(11). С.309-321. [Zamaliyev F.S. Numerical and natural experiments of prestressed steel-reinforced concrete beams. *Bulletin of MGSU*. 2018. Iss. 3(11). P.309-321.]
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. To the calculation of

steel-reinforced concrete ribbed slabs for restored ceilings. 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. Ilshat Mirsayapov and George Apkhadze /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. M.Rabie, W.Zaki and S.Zaky. 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. Мирсяпов Ил.Т. Обеспечение безопасности железобетонных балок по наклонному сечению при многократно повторяющихся нагрузках/ Ил.Т.Мирсяпов// Жилищное строительство. – Москва. 2016, №1. – С. 23-27. [Mirsayapov И.Т. Ensuring the safety of reinforced concrete beams along an inclined section under repeated loads / И.Т. Mirsayapov // Housing construction. - Moscow. 2016, No. 1. - P. 23-27]/

15. Mirsayapov Ilshat. Endurance of reinforced concrete beams with small shear spans// © Springer Nature Switzerland AG 2020 B. Anatolijs et al. (eds.), Proceedings of EECCE 2019, Lecture Notes in Civil Engineering – P. 763-775.

Информация об авторах.

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

E-mail: mirsayapovit@mail.ru

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

E-mail: akkfok@mail.ru

Information about the authors.

Ilshat Talgatovich Mirsayapov, doctor of technical sciences, Associate Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: mirsayapovit@mail.ru

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

Email: akkfok@mail.ru