

УДК: 624.012  
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.8  
EDN: IJQESY



## Сопротивление комбинированной (сталебетонной) балки

Илшат Т. Мирсаяпов<sup>1</sup>, М.Н. Павлов<sup>1</sup>, Р.Г. Гайнетдинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** *Постановка задачи.* Известные варианты поперечных сечений комбинированных балок, которые представлены в пособиях, статьях и патентах исследователей, имеющие свои достоинства и недостатки. Комбинированные (сталебетонные) балки с частичной заделкой в бетонную плиту мало исследованы, существует необходимость предварительной оценки несущей способности сечения, которое можно выполнить численными методами. Цель работы: исследование мало изученного варианта комбинированной (сталебетонной) балки. В связи с поставленной целью решены следующие задачи: описаны достоинства комбинированной (сталебетонной) балки с частичной заделкой стального двутавра в бетонную плиту и проведен анализ напряженно-деформированного состояния по нормальным сечениям.

*Результаты.* В работе описаны достоинства предложенного варианта комбинированной (сталебетонной) балки. Представлена модель, описывающая напряженно-деформированное состояние комбинированной (сталебетонной) балки по нормальным сечениям.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что предложенный вариант комбинированной (сталебетонной) балки с частичной заделкой стального двутавра в бетонную плиту, позволит увеличить несущую способность перекрытия, уменьшить затраты на строительные-монтажные работы и затраты на материалы.

**Ключевые слова:** сталебетонная балка, комбинированная балка

**Для цитирования:** Мирсаяпов Илшат Т., Павлов М.Н., Гайнетдинов Р.Г. Сопротивление комбинированной (сталебетонной) балки // Известия КГАСУ, 2024, № 1(67), с. 71-82, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.8, EDN: IJQESY

## Resistance of a composite (steel-concrete) beam

Ishat T. Mirsayapov<sup>1</sup>, M. N. Pavlov<sup>1</sup>, R. G. Gainetdinov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract.** *Problem statement.* Well-known variants of cross-sections of composite beams, which are presented in manuals, articles, patents of researchers, they have their advantages and disadvantages. Composite (steel-concrete) beams with partial embedding in a concrete slab have been studied little, that's why there is a need for a preliminary assessment of the bearing capacity of the section, which can be performed by numerical methods. The purpose of the work is to study a little-studied variant of a composite (steel-concrete) beam. In the connection with the purpose above the following tasks have been solved: to describe the advantages of a composite (steel-concrete) beam with partial embedding of a steel I-beam into a concrete slab and to analyze the stress-strain state according to normal sections.

*Results.* The paper presents the advantages of the proposed variant of a composite (steel-concrete) beam. A model describing the stress-strain state of a composite (steel-concrete) beam in normal sections is presented.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the proposed version of a composite (steel-concrete) beam with partial embedding of a steel I-beam into a concrete slab will increase the bearing capacity of floors, reduce the cost of construction and installation work and material costs.

**Keywords:** steel concrete beam, composite beam.

**For citation:** Mirsayapov Ilshat T., Pavlov M.N., Gainetdinov R.G. Resistance of a composite (steel-concrete) beam // News KGASU, 2024, № 1(67), p. 71-82, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.8, EDN: IJQESY

## 1. Введение

В последние десятилетия в России построено множество уникальных сооружений: Московский международный деловой центр «Москва-Сити» [1-3], спортивные объекты XXVII Всемирной летней Универсиаде и к Чемпионату мира по футболу 2018 г. [4-5]. Для подобных сооружений актуальны конструкции, которые могут быть использованы как большепролетные перекрытия. Наиболее популярные конструкции: металлические фермы, кессонные перекрытия, а также перекрытия, включающие в себя композитные (сталежелезобетонные) балки.

Изучение комбинированных (сталебетонных) балок актуально тем, что конструкция имеет множество преимуществ, например, бетонная плита эффективно работает на сжатие, а стальная балка на растяжение. К преимуществам комбинированных балок можно отнести, что они имеют хорошие прочностные и жесткостные показатели при тех же геометрических характеристиках.

Наиболее популярное сечение — это комбинированная (сталежелезобетонная) балка по стальному профилированному настилу [6-7]. В данном сечении железобетонная плита по профилированному листу опирается на верхнюю полку двутавра, совместная работа обеспечивается с помощью гибких упоров. При этом, как известно, в большинстве случаев по конструктивным требованиям невозможно расположить достаточное количество гибких упоров для обеспечения полной совместной работы железобетонной плиты и стальной балки.

Известна комбинированная (сталежелезобетонная) балка [8], в которой нижний пояс стальной балки заделан в железобетонную плиту. Недостатком данного сечения является, что железобетонная плита находится в растянутой зоне. Бетон не эффективно работает на растяжение, верхняя полка стальной балки находится в сжатой зоне. Возникает проблема с потерей устойчивости и требуется дополнительное раскрепление конструкции.

Наиболее близким сечением, к изучаемой балке, является композитное перекрытие из гнутого оцинкованного профиля без анкерных устройств, в котором верхняя полка П-образного профиля частично заделана в бетонную плиту [9-10]. Профиль полностью находится в растянутой зоне и на сжатие не работает. Поэтому часть сечения стального профиля выполняет роль жесткой арматуры в растянутой зоне железобетонной плиты. Такое размещение профиля создает максимальные напряжения сдвига по поверхности контакта. Предполагаемый участок отказа между профилем и бетонной плитой от растягивающих усилий. Ограничения пролета данного перекрытия 6-8 м. Балки располагаются с шагом 1,23 м.

Авторами предлагается сечение, где верхняя полка стальной балки заделана в бетонную плиту. При таком конструировании бетонная плита раскрепляет верхнюю полку стальной двутавровой балки и усиливает ее сжатую зону. Строительная высота сечения схожа с монолитной плитой перекрытия, но несущая способность комбинированной балки в составе перекрытия будет кратно выше.

Цель работы заключается в описании напряженно-деформированного состояния сечения.

Задачами исследования является:

- получить, описать и изобразить эпюры напряжений по нормальным сечениям на основе анализа численной модели;
- определить элемент отказа с учетом нелинейной диаграммы работы стали и бетона на основе анализа модели;

- определить несущую способность комбинированной (сталебетонной) балки;
- сравнить комбинированную (сталебетонную) балку с разной толщиной бетонной плиты. Определить критерии подбора толщины плиты.

## 2. Материалы и методы

В качестве исходных данных для исследования принято сечение на рис. 1, стальная балка прокатная 20Б1 из класса стали С245, которая верхней полкой заделана в бетонную плиту толщиной 60 мм класс бетона В25, армированная конструктивной сеткой диаметром 3 мм класс В500.

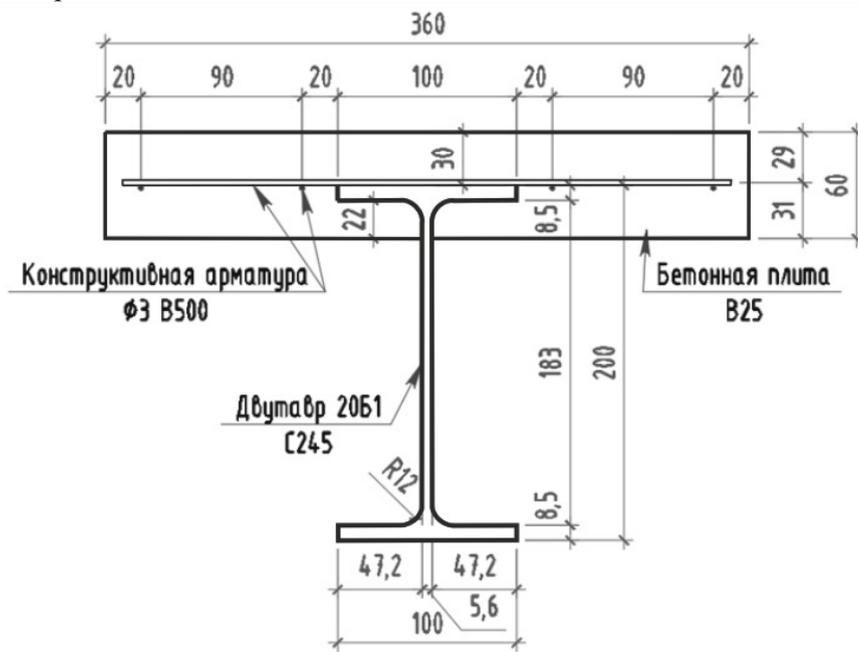


Рис. 1. Исследуемое сечение 1-1 (иллюстрация авторов)  
Fig. 1. The section under study 1-1 (illustration by the authors)

Расчетная схема на рис. 2, представляет собой балку, опертую на две опоры шарнирно. Нагрузка приложена равномерно по всей длине балки.

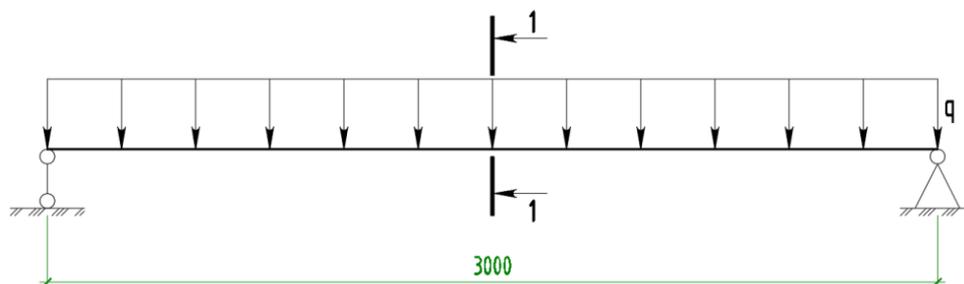


Рис. 2. Расчетная схема исследуемого сечения (иллюстрация авторов)  
Fig. 2. Calculation scheme of the section under study (illustration by the authors)

Расчетная модель балки представлена на рис. 3, которая была собрана в SpaceClaim. Конечный элемент типа «solid 185/186» применен для стальной балки бетонной плиты, закладных деталей и опор. Для арматуры конечный элемент типа «Beam 188», который преобразован в тип reinforcement в workbench.

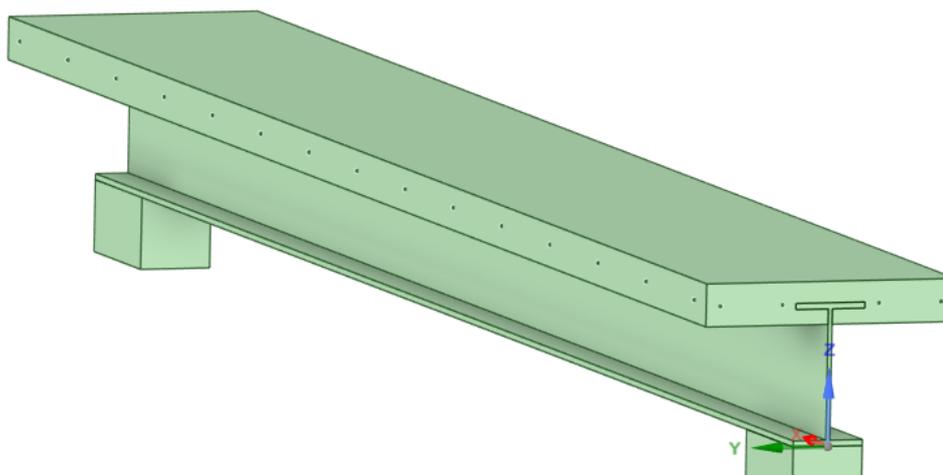


Рис. 3. Расчетная модель балки в SpaceClaim (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Calculation model in SpaceClaim (illustration by the authors)

Характеристики материалов заданы нелинейными. Для бетона принята экспоненциальная диаграмма работы в соответствии с приложением Г СП 63.13330.2018. Принята теория прочности и пластичности бетона Менетри-Виллама (Menetrey-Willam), которая хорошо описывает поведение натуральных образцов бетона. Для учета трещин в растянутой зоне используется модель разупрочнения (деградации) бетона HSD 6 (Hardening-Softening and Dilatation). Заданы характеристики бетона В25. Нормативные значения приведены в таблице 1.

Таблица 1

## Заданные характеристики бетона в Ansys Workbench

№	Наименование параметра	Пояснение к параметру	Ед. изм.
Базовые параметры материала (бетона)			
1	Плотность (Density)	2400	кг/м <sup>3</sup>
2	Условный модуль упругости бетона (Young's Modulus)	30000	МПа
3	Коэффициент Пуассона (Poisson's Ratio)	0,2	-
Menetrey-Willam Base (Менетри-Виллам базовый параметры)			
4	Прочность бетона при одноосном сжатии (Uniaxial Compressive Strength)	18,5	МПа
5	Прочность бетона при одноосном растяжении (Uniaxial Tensile Strength)	1,55	МПа
6	Прочность бетона при двухосном сжатии (Biaxial Compressive Strength)	22,2	МПа
7	Угол дилатации бетона при сдвиге (Dilatancy Angle)	13	град.
Softening HSD 6 (разупрочнение по экспоненциальному закону)			
8	Пластические относительные деформации бетона, соответствующие вершине диаграммы (Plastic Strain at Uniaxial Compressive Strength)	0,0015008	мм/мм
9	Предельные пластические относительные деформации, соответствующие началу участка разупрочнения бетона (Plastic Strain at Transition from Power Law to Exponential Softening)	0,0028584	мм/мм
10	Относительные сжимающие напряжения в бетоне в конце упругого участка диаграммы (Relative Stress at Start of Nonlinear Hardening)	0,6	-

Окончание таблицы 1

11	Относительные сжимающие напряжения в бетоне, соответствующие предельным относительным деформациям, соответствующие началу участка разупрочнения бетона (Residual Relative Stress at Transition from Power Law to Exponential Softening)	0,85	-
12	Остаточные относительные сжимающие напряжения в бетоне в стадии полного разрушения (Residual Compressive Relative Stress)	0,2	-
13	Внутренняя энергия деформирования единичной площадки при растяжении (Mode 1 Area Specific Fracture Energy)	155,55	Н/м <sup>1</sup>
14	Остаточные относительные растягивающие напряжения в бетоне, соответствующие трещинообразованию (Residual Tensile Relative Stress)	0,1	-

Для стали принята кусочно-линейная диаграмма в соответствии с приложением В1 СП 16.13330.2017. Заданы характеристики стали С245. Нормативные значения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Заданные характеристики стали в Ansys Workbench

№	Наименование параметра	Пояснение к параметру	Ед. изм.
Базовые параметры материала (бетона)			
1	Плотность (Density)	7850	кг/м <sup>3</sup>
2	Условный модуль упругости стали (Young's Modulus)	$2,06 \cdot 10^5$	МПа
3	Коэффициент Пуассона (Poisson's Ratio)	0,3	-
Multilinear Isotropic Hardening (Мультилинейная изотропная модель упрочнение стали)			
6	Параметры в таблице (деформации)	Значение: 0	мм/мм
		Значение равняется пределу упругой работы диаграммы: $\varepsilon_{пц} = 0,00098$	мм/мм
		Значение равняется пределу упруго-пластичной работы диаграммы: $\varepsilon_{нт} = 0,0020825$	мм/мм
		Значение равняется пределу площадки текучести диаграммы: $\varepsilon_{кт} = 0,01715$	мм/мм
		Значение равняется пределу площадки самоупрочнения диаграммы: $\varepsilon_{в} = 0,17346$	мм/мм
7	Параметры в таблице (напряжения)	Значение: $0,1^{10}$	МПа
		Значение равняется пределу текучести стали: 196	МПа
		Значение равняется началу текучести стали: 245	МПа
		Значение равняется текучести стали: 245	МПа
		Значение равняется временному сопротивлению стали: 405	МПа

Для арматуры принята линейная работа стали, так как в данном случае арматура осуществляет роль конструктивной и в расчете не учитывается. Для опор также принята линейная работа стали, которая имитирует стальные опоры. В Workbench заданы следующие контакты: 1) между опорой 1 и нижней полкой двутавра: «Rough»,

данный контакт моделирует шарнирно-неподвижную опору; 2) между опорой 2 и нижней полкой двутавра: «Frictional» с коэффициентом 0,5, данный контакт моделирует шарнирно-подвижную опору; 3) между бетонной плитой и частью двутавра, которая заделана в плиту: «Frictional» с коэффициентом 0,5, которая принята на основе испытаний [11], которая моделирует трение между сталью и бетоном. Заданы следующие граничные условия: 1) на нижнюю поверхность опор «Fixed Support», которая имитирует жесткую заделку; 2) на боковые грани бетонной плиты поперек балки задан «Displacement», которая ограничивает перемещение по Y. Нагрузка задана на всю поверхность плиты: «Force», значение 300000 N.

### 3. Результаты и обсуждение

Для анализа полученных результатов необходимо выведены следующие значения: 1) для бетона и стали Normal Stress (нормальные напряжения); Equivalent Total Strain (относительные деформации); 2) Для оценки прогибов Total Deformation (полные деформации); для определения несущей способности Force Reaction (опорная реакция).

Отказ сечения зафиксирован на 0,91994 секунды, несущая способность составила  $P_{ult} = 300000 \cdot 0,91994 = 275982 \text{ N} = 28,14 \text{ т}$ . Общие деформации на рис. 4. В момент отказа сечения составляет 33,075 мм, что превышает требования, представленные в приложение Д СП 20.13330.2016. Для пролета 3 метра максимальный прогиб составляет  $-L/150=20 \text{ мм}$ .

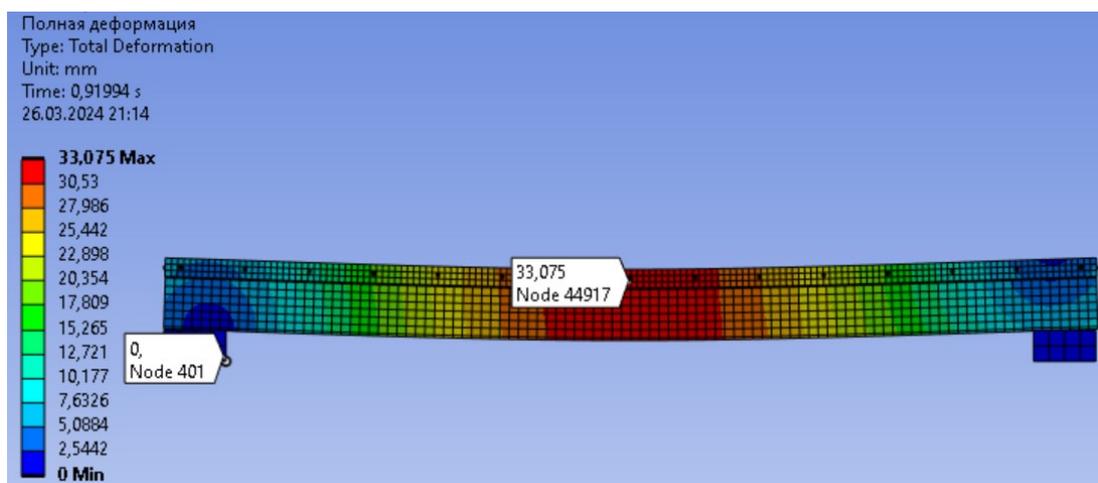


Рис. 4. Прогиб балки (иллюстрация авторов)  
Fig. 4. Deflection of the beam (illustration by the authors)

Нормальные напряжения в бетонной плите представлены на рис. 5. В момент отказа сечения составляет 30,12 МПа. Локально превышено сопротивление бетона на сжатие  $R_{b,n}=18,5 \text{ МПа}$ . Можно заметить положительные значения, а именно растяжение бетона со значением 1,54 МПа, которое не превышает сопротивление бетона на растяжение  $R_{bt,n}=1,55 \text{ МПа}$ .

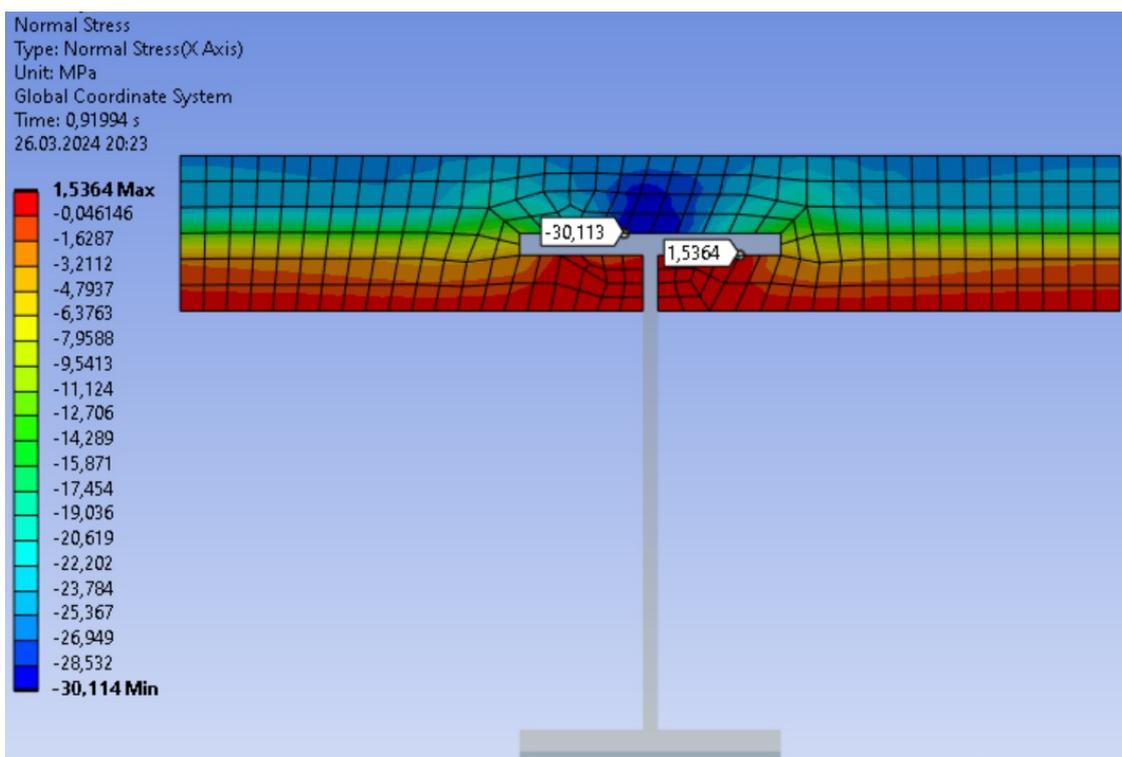


Рис. 5. Нормальные напряжения в бетонной плите (иллюстрация авторов)  
 Fig. 5. Normal stresses in a concrete slab (illustration by the authors)

Относительные деформации в бетонной плите на рис. 6. В момент отказа в сжатой зоне сечения составляет 0,0032 мм/мм, что не превышает максимально допустимые деформации пункт 6.1.20 СП 63.13330.2018, в растянутой зоне 0,0009 мм/мм, что превышает максимально допустимые деформации пункт 6.1.22 СП 63.13330.2018. Это означает, что трещины образуются.

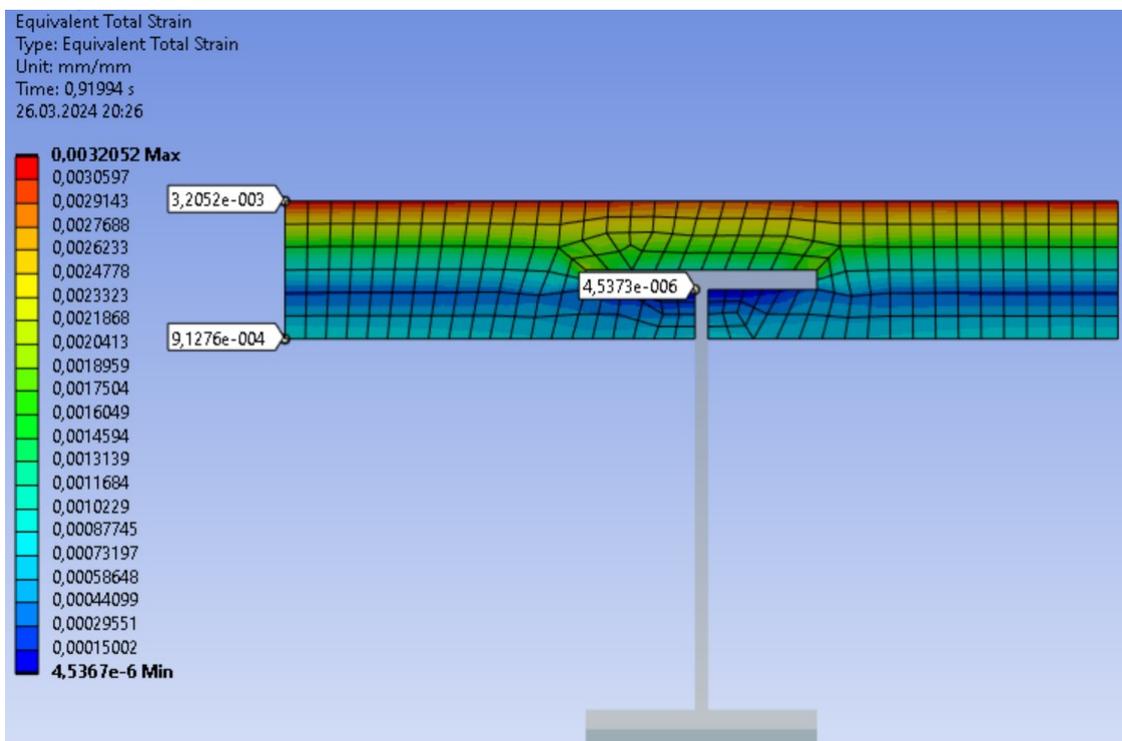


Рис. 6. Относительные деформации в бетонной плите (иллюстрация авторов)  
 Fig. 6. Relative deformations in a concrete slab (illustration by the authors)

Нормальные напряжения в стальной балке на рис. 7. В момент отказа сечения составляют в растянутой зоне 248,47 МПа, что превышает сопротивление стали в упругой работе и означает, что сталь находится на площадке текучести в сжатой зоне 216,84 МПа, при этом сталь работает упруго.

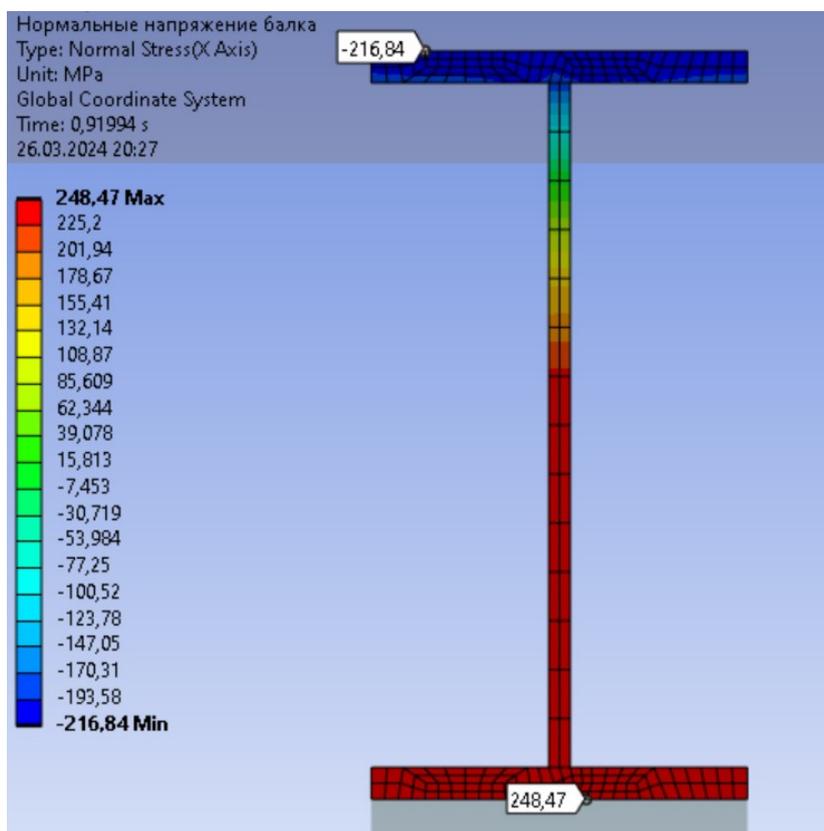


Рис. 7. Нормальные напряжения в стальной балке (иллюстрация авторов)  
Fig. 7. Normal stresses in a steel beam (illustration by the authors)

Относительные деформации в стальной балке на рис. 8. В момент отказа сечения составляет в растянутой зоне 0,0098 мм/мм, сталь «течет» и находится между 0,0021 мм/мм (граница между упруго-пластичной работы и площадкой текучести) и 0,0017 мм/мм (граница между площадкой текучести и площадкой самоупрочнение стали). В сжатой зоне 0,00051 мм/мм, сталь работает упруго и находится на участке до 0,00098 мм/мм (граница начало упруго-пластичной работы стали).

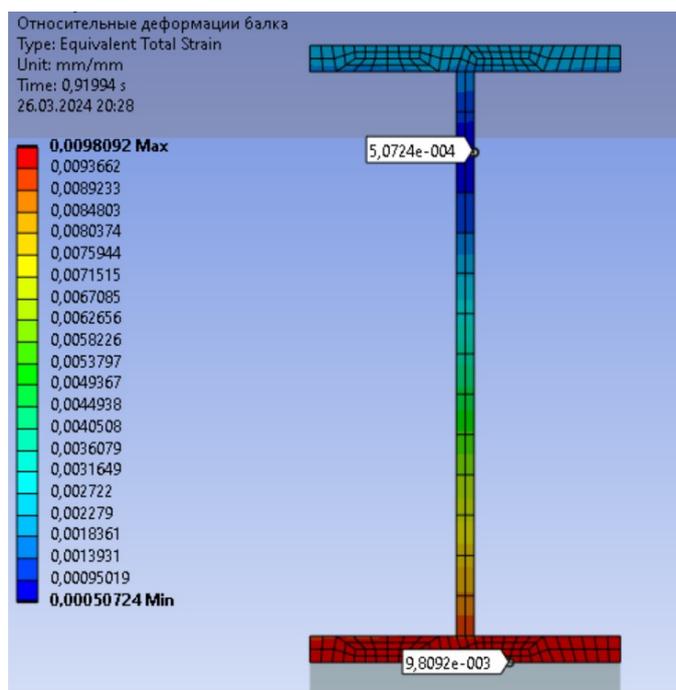


Рис. 8. Относительные деформации в стальной балке (иллюстрация авторов)  
 Fig. 8. Relative deformations in a steel beam (illustration by the authors)

Из полученных результатов усилий и напряжений в поперечном сечении комбинированной балки, воспринимающий изгибающий момент можно представить на рис. 9. 1 стадия НДС зафиксирована на 0,70377 секунды при нагрузке, которая соответствует  $P_{crс} = 300000 \cdot 0,70377 = 211131 \text{ N} = 21,53 \text{ т}$ . 3 стадия НДС зафиксирована при нагрузке  $P_{ult}$

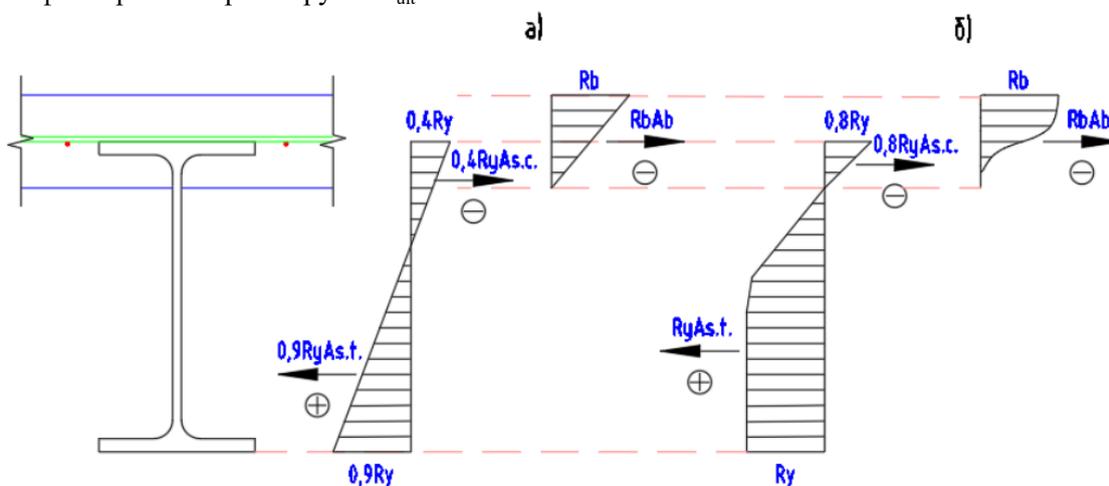


Рис. 9. Эпюры напряжений в сечении: а – 1 стадия НДС; б – 3 стадия НДС  
 (иллюстрация авторов)

Fig. 9. Stress diagrams in the cross section: a – 1st stage of VAT; b – 3rd stage of VAT  
 (illustrations by the authors)

Отказ сечения при достижении максимальных деформаций в сжатой зоне бетона. Растянутый участок стальной балки находится на площадке текучести, а именно сечение отказывает пластично и не способствует хрупкому разрушению. Стальная балка эффективно работает. Большая часть сечения находится в растянутой зоне, сжатая зона раскреплена в плите и не способствует потери устойчивости. Бетонная плита находится в сжатой зоне на 85 %, остальные 15 % в растянутой зоне, без образований силовых трещин.

Для оптимального подбора толщины бетонной плиты выполнен вариативный расчет. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3

## Сравнение результатов расчета

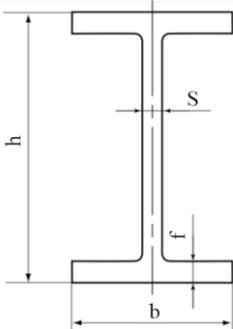
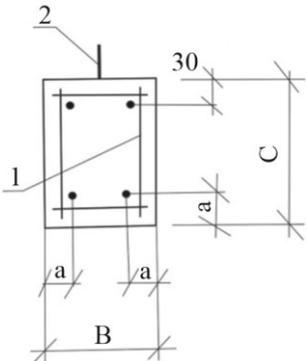
Толщина плиты, мм	Прогиб балки, мм	$P_{срс}$ , т	$P_{ult}$ , т	Участок разрушения балок
50	35,062	23,74	28,27	Сжатая зона бетонной плиты
60	33,075	21,53	28,14	Сжатая зона бетонной плиты
70	31,474	16,82	27,98	Сжатая зона бетонной плиты
80	29,888	12,21	27,86	Сжатая зона бетонной плиты

Критерием подбора толщины бетонной плиты является шаг балок в составе перекрытия. Чем больше шаг стальных балок, тем требуется большая толщина плиты для восприятия изгибающего момента в пролете между балок.

Для сравнения несущей способности и прогибов выбраны: 1) исследуемая балка; 2) стальная двутавровая балка [12]; 3) железобетонная балка [13]. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

## Сравнение балок

№	Сечение балки	Характеристика материалов	Несущая способность
1	Исследуемая балка см. Рис. 1		$P_{ult} = 28,14$ т Прогиб = 33,075 мм
2		Двутавров нормальный (Б) по ГОСТ 260-20-83 23Б1; $h=230$ мм; $b=110$ мм; $s=5,6$ мм; Сталь С245 по ГОСТ 27772; $R_y=240$ МПа, $R_u=360$ МПа $L=3$ м Упругий расчет	$P_{ult} = 16,92$ т Прогиб = 9 мм
3		Железобетонная балка серия 1.126.1 КЛ-1 Б 32.38-22-6Т; $B=380$ мм; $C=220$ мм; Бетон В20 $R_b=11,5$ МПа; Арматура А400 $R_s=400$ МПа $A_s=36,54$ см <sup>2</sup> ; $A_s'=11,52$ см <sup>2</sup> . Упругий расчет	$P_{ult} = 18$ т Прогиб = 14 мм

Из анализа несущей способности и прогибов балок видно, что исследуемая балка имеет больший прогиб, так как расчет был произведен в нелинейной поставке, была допущена пластичная работа стального двутавра. При этом несущая способность в 2,23 раза выше, чем у второго образца и на 1,56 раз выше, чем у третьего образца. Можно сказать, что при использовании комбинированной балки: 1) увеличивается несущая способность комбинированных (сталебетонных) балок; 2) экономия материала, не требуется установка гибких упоров и других элементов для обеспечения совместной работы балки и плиты; 3) уменьшается строительная высота сечения.

## 4. Заключение

1. Описаны достоинства предложенного варианта комбинированной (сталебетонной) балки. На основе напряженно-деформированного состояния определен характер разрушения сечения, который достигается при относительных деформациях 0,0032 мм/мм в сжатой зоне бетонной плиты при нагрузке 28,14 т.
2. Определен прогиб сечения, который в момент разрушения составляет 33,075 мм. Проанализировано напряженно-деформированное состояние на участке действия

- изгибающего момента. Применены актуальные теории поведения бетона и стали.
3. Представлены эпюры напряжений на участке действия изгибающего момента. Определены критерии подбора толщины плиты.
  4. Намечены дальнейшие исследования напряженно-деформированного состояния по касательным напряжениям на участке совместного действия изгибающего момента и поперечных сил.
  5. Сечение можно эффективно использовать, где требуется пластичная работа перекрытий. Область применения сечения в зданиях и сооружениях, а также в мостовых конструкциях.

#### Список литературы/References

1. Веселова. Е.А., Комшин С.В. Конструктивные системы жилых высотных зданий 2022, монография, 141 стр. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. [Veselova E.A., Kamyshin S.V. Structural systems of residential high-rise buildings 2022, monograph, 141 p. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Engineering].
2. Исаков, Л.А. Высотное строительство в России 2016, Синергия 2016 № 6, стр. 442-458. [Isakov, L.A. High-rise construction in Russia 2016, Synergy 2016 No. 6, P. 442-458].
3. А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, Д.С. Дмитриев, А.И. Нагибович, Н.О. Петрашев, С.О. Петряшев. Расчетное исследование параметров механической безопасности высотного строительства (404 метра) жилого комплекса «One Tower» в деловом центре «Москва-Сити» 2019, АСАДЕМИКА, Архитектура и строительство стр. 122-129. [A.M. Belostotsky, P.A. Akimov, D.S. Dmitriev, A.I. Nagibovich, N.O. Petrashev, S.O. Petryashev. Computational study of the parameters of mechanical safety of high-rise construction (404 meters) of the residential complex "One Tower" in the business center "Moscow City" 2019, АСАДЕМИКА, Architecture and construction P. 122-129].
4. Лекина. Д.К., Океанов Г.В., Архитектура большепролетных светопрозрачных покрытий футбольных стадионов 2018, Промышленное и гражданское строительство № 6, стр. 9-16. [Leikina. D.K., Okeanov G.V., Architecture of large-span translucent coatings of football stadiums 2018, Industrial and civil engineering No. 6, P. 9-16].
5. Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Аул, А.А., Дмитриев Д.С., Дядченко Ю.Н., Нагибович А.И., Островский К.И., Павлов А.С. Расчетное обоснование механической безопасности стадионов к чемпионату мира по футболу 2018 года, АСАДЕМИКА. Архитектура и строительство 2018 №3, стр. 118-129. [Belostotsky A.M., Akimov P.A., Aul, A.A., Dmitriev D.S., Dyadchenko Yu.N., Nagibovich A.I., Ostrovsky K.I., Pavlov A.S. Calculation justification of mechanical safety of stadiums for the 2018 FIFA World Cup, АСАДЕМИКА. Architecture and Construction 2018 No.3, P. 118-129].
6. Тарасикова В.Е., Крючков А.А., Теоритические и экспериментальные исследования сталежелезобетонных перекрытий по стальному профилированному настилу, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова 2020, сборник трудов конференции, стр. 86-91. [Tarasikova V.E., Kryuchkov A.A., Theoretical and experimental studies of steel-reinforced concrete floors on steel profiled flooring, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov 2020, proceedings of the conference, P. 86-91].
7. Рихтер Д.А., Иовенко А.А., Ершов М.Н. Проектирование сталежелезобетонных перекрытий по стальному профилированному настилу с применением анкерных упоров HILTIХ-HVB / Международный центр по развитию и внедрению механизмов саморегулирования. 2012. 17-22 стр. [Richter D.A., Iovenko A.A., Ershov M.N. Design of steel-reinforced concrete floors on steel profiled flooring using HILTIХ-HVB anchor stops / International Center for the Development and Implementation of self-regulation mechanisms. 2012. P. 17-22].
8. Ведяков И.И., Конин Д.В., Крылов С.Б., Семенов В.А., Крылов А.С., Рожкова Л.С. Руководство по проектированию сталежелезобетонных конструкций 2018 [Vedyakov I.I., Konin D.V., Krylov S.B., Semenov V.A., Krylov A.S., Rozhkova L.S.

- Guide to the design of steel-reinforced concrete structures 2018].
9. Туснин А.Р. Численный расчет сталежелезобетонных конструкций, 2022. С. 61-73. DOI: 10.22227/2305-5502-2022.1.5. [Tusnin A.R. Numerical calculation of steel-reinforced concrete structures, 2022. P. 61-73. DOI: 10.22227/2305-5502-2022.1.5].
  10. Ахрамочкина Т.И. Теоритические и экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций с применением гнутых стальных профилей, 2021. С. 27-40. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.4.3. [Akhramochkina T.I. Theoretical and experimental studies of steel-reinforced concrete structures using bent steel profiles, 2021. P. 27-40. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.4.3.].
  11. Васылев В.Н., Миронов А.Н., Анищенко В.М., Игнатенко Д.Р. Экспериментальные исследования совместной работы стального элемента и бетона по поверхности их соприкосновения. 2022, том 28, номер 3. [Vasiliev V.N., Mironov A.N., Anishchenkov V.M., Ignatenko D.R. Experimental studies of the joint operation of a steel element and concrete on the surface of their contact. 2022, volume 28, number 3.]
  12. Замалиев Ф.С. Численные и натурные эксперименты преднапряженных сталежелезобетонных балок. Вестник МГСУ. 2018. Вып. 3(11). С.309-321. [Zamaliyev F.S. Numerical and full-scale experiments of pre-stressed steel-reinforced concrete beams. Bulletin of MGSU. 2018. Issue. 3(11). P.309-321.]
  13. 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. Number 2, P. 27-34. DOI: 10.24411/2413-8452-2018-10004.]
  14. 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. Number 4, P. 205-208.]
  15. 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].

#### Информация об авторах

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

E-mail: mirsayapovit@mail.ru

**Павлов Максим Николаевич**, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: pavlov.m.n@bk.ru

**Гайнетдинов Ришат Габдулхаевич**, ассистент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: rishat.gajnetdinov@bk.ru

#### 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

**Maksim N. Pavlov**, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: pavlov.m.n@bk.ru

**Rishat G. Gainetdinov**, assistant, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: rishat.gajnetdinov@bk.ru