



Research Article


Received: February 7, 2024

Accepted: February 21, 2024

Published: February 28, 2024

ISSN 2304-6295

Resistance of a composite beam in the area of bending moment and transverse forces

Mirsayapov, Ilshat Talgatovich¹ Pavlov, Maksim Nikolaevich¹ 

¹ Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation, mirsayapovit@mail.ru (M.I.T); pavlov.m.n@bk.ru (P.M.N)

Correspondence: * email pavlov.m.n@bk.ru; contact phone [+79991553385](tel:+79991553385)

Keywords:

Structures of building; Composite beam; Beams; Steel concrete; Reinforced beam; Investigation of the stress-strain state; Ansys.

Abstract:

The object of research is the bearing capacity of a composite (steel-concrete) beam. The work aims to analyze the stress-strain state at the site of the bending moment and the site of the bending and transverse forces for a composite beam. The objectives of the study are to determine the nature and location of the fracture, considering the physical nonlinearity of concrete and steel, to determine how the stress changes in different sections of the composite beam, and to determine forces, deflections, and deformations. **Method.** The Ansys software package is used to assess the stress-strain state, and nonlinear diagrams of materials based on the most modern theories of calculations of concrete and steel are used. **Results.** Plots of normal and tangential stresses and deformations are proposed both separately for a steel beam and a concrete slab and jointly for a composite beam. The deflections of the beam are determined, the height of the compressed section zone is determined, the results of the stress-strain state of the composite beam are obtained based on nonlinear diagrams of materials, the failure site around bending moment and the joint section are determined the actions of bending and transverse forces.

1 Introduction

В связи с тем, что в 2000–2024 гг. возводилось множество уникальных зданий и сооружений, возникает вопрос в выборе конструктивных решений для большепролетных перекрытий. Наиболее популярные конструкции из бетона: предварительно-напряженные сборные перекрытия, кессонные постнапряженные перекрытия и множество разных оболочек как сборных, так и монолитных; конструкции из стали и дерева: фермы плоские и пространственные, арочные перекрытия. Существуют конструкции, где объединяются преимущество бетона и стали которые называются композитные перекрытия, существуют: композитные (сталебетонные) балки, композитные (сталебетонные) фермы.

Рассмотрим композитные (сталебетонные) балки, при правильном конструировании данного вида сечение, можно получить выгоду т.е. наиболее лучшие свойства каждого элемента стали и бетона. Бетон эффективно работает на сжатие, имеет эффект огнезащиты и препятствует образованию коррозии стальных элементов и выполняет роль ограждающей конструкции, сталь эффективно работает на растяжение и сжатие, но имеет проблему потери устойчивости в сжатой зоне, в связи с этим требуется раскрепление сжатой зоны стальной балки, которая наиболее популярно выполняется из гибких упоров которые привариваются на верхнюю полку двутавровой стальной балки и заделываются в бетонную плиту.



Наиболее популярные сечения указаны в нормативной документации РФ по правилам проектирование [1]-[3], практический во всех видах сечений используются гибкие упоры для обеспечения совместной работы стальной балки и бетонной плиты, но есть вариант, когда стальная балка полностью заделывается в бетонный элемент.

Изучением балок с жесткой арматурой из высокопрочного бетона занимались: В.И. Травуш, Д.В. Конин, А.С. Крылов. Был произведен физический эксперимент балок описан характер разрушение и результаты исследований [4].

Испытанием балочных конструкций с применяем высокопрочных бетонов и сталефибробетонов занимались: Д.В. Конин, А.С. Крылов. Был произведен физический эксперимент и сравнение образцов из высокопрочного бетона с гибкой арматурой, жесткой арматурой и без арматуры, то же самое с фибробетоном [5].

Оценкой несущей способности сталебетонных балок на основе гнутых профилей занимался: Ф.С. Замалиев, А.Г. Тамразян. Произведен физический эксперимент, анализ напряженно-деформированного состояния в ПК Ansys [[ansys.com](https://www.ansys.com)], предложен ручной расчет предложенного сечения [6].

Изучением сталежелезобетонных перекрытием с использованием гнутых стальных профилей занимались: А.Р. Туснин, Т.И. Ахрамочкина. Произведены теоретические и экспериментальные исследование сталежелезобетонной балки без анкерных устройств, верхняя полка П-образного профиля заделан в бетонную плиту [7]-[9].

Исследованием частично обетонированных стальных балок и сталежелезобетонных перекрытий занимался: Д.В. Конин. Проанализированы результаты экспериментальных образцов, выявлены действительные значение изгибных жесткостей конструкций [10].

Применение сталежелезобетонных конструкций в мостовых сооружений исследовал: В.В. Веселов. Выявлены преимущества использования комбинированных конструкций для мостовых сооружений относительно железобетонных и стальных конструкций [11].

Надежностью сталебетонных балок при реконструкции исследовал: А.И. Долганов. Произведенные сравнение со стальными балками, определены преимущество сталебетонных балок при реконструкциях [12].

Исследованием напряженно-деформированного состояния и расчета на основе диаграммного метода занимались: Илшат Т. Мирсаяпов, И. М. Гиматдинов. Получены результаты нормальных напряжений и относительных деформация на участке действия изгибающего момента, предложен метод расчет на основе диаграммного метода [13]-[14].

Исследованием напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных балок нового типа железнодорожных мостов занимались: Илшат Т. Мирсаяпов, А. Т. Валиев. Получены результаты нормальных напряжений и относительных деформаций на участке действия изгибающего момента, описаны эпюры напряжений и деформаций [15].

Новая концепция композитной сталежелезобетонной плиты перекрытия предложена: Я. Дериш. Проведены физические эксперимент, предложен метод расчета [16].

Исследованием разных типов анкеров, для обеспечения совместной работы стали и бетона занимались: П. Билый, А. Монако. Произведен физический эксперимент, численные исследования НДС, предложены варианты для сейсмических районов [17].

Изучением композитной балки со стальными фермами занимались: П. Колаханни, Л. Ла Мендола, А. Монако. Был произведен физический эксперимент и предложен ручной метод расчета [18].

Оценкой несущей способности усиленной стальной двутавровой балки бетонной плитой занимались: М. Раби, В. Заки, С. Заки. Был произведен физических эксперимент и сравнение образцов стальной балки, сталебетонной балки заделанной верхней полкой в бетонную плиту, сталебетонной балки без объединения двух материалов [19].

Авторами предлагается рассмотреть сечение, в котором верхняя полка стальной балки заделана в бетонную плиту. В таком случаи бетонная плита раскрепляет верхнюю полку стальной двутавровой балки и усиливает ее сжатую зону. Можно получить эффективное сечение, которое по строительной высоте может быть очень близкой к монолитной плите, но несущая способность композитной балки в составе перекрытия будеткратно выше.

На данный момент не предложена схема эпюр нормальных, касательных напряжений и деформаций на участке совместного действия изгибающий моментов и поперечных сил для рассматриваемого сечения. Также не описано, как изменяются касательные напряжения вдоль балки на участке контакта стальной балки и бетонной плиты.

Таким образом, целью авторов становится оценить напряженно-деформирование состояние на участке действия изгибающего момента и на участке действия изгибающего момента и поперечных сил, как изменятся касательные напряжения вдоль балки на участке контакта стальной балки и бетонной плиты для сечения, в котором верхняя полка стальной балки заделана в бетонную плиту.

Задачами исследования являются: получить, описать и изобразить эпюры нормальных, касательных напряжений и деформаций. Определить участки и элементы отказа сечения с учетом физической нелинейности ведением нелинейной диаграммы работы стали и бетона на основе анализа расчетной схемы в программном комплексе Ansys [[ansys.com](https://www.ansys.com)].

2 Materials and Methods

Исходные данные для исследования принято сечение на рис. 1, балка стальная прокатная 26Б2 класс стали С245, которая верхней полкой заделана в бетонную плиту 60 мм, класс бетона В25, армированная конструктивной сеткой диаметров 3 мм класс В500.

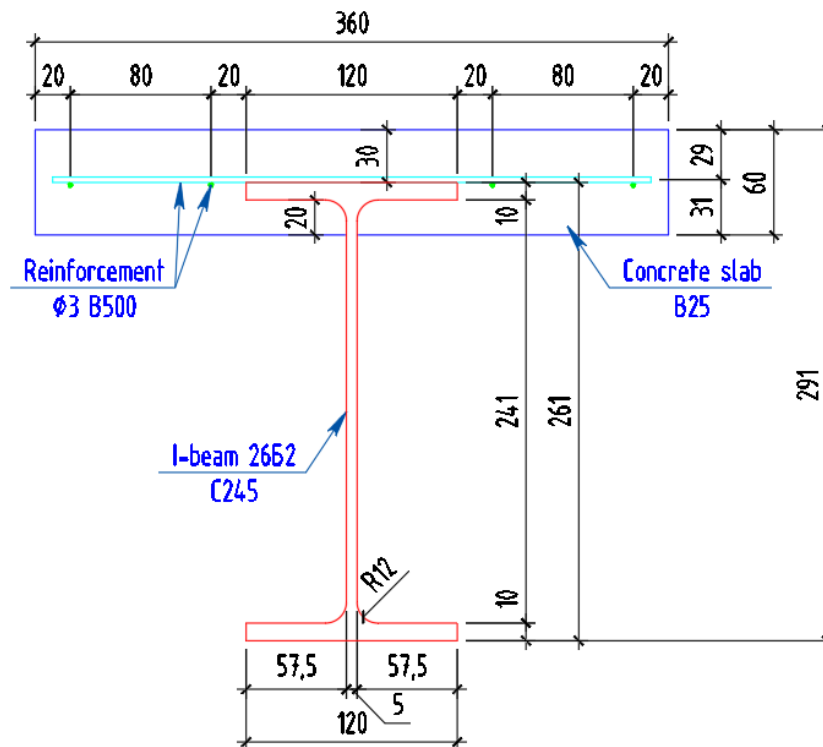


Рис. 1 – Исследуемое сечение
Fig. 1 – The section under study

Расчетная схема на рис. 2, балка опертая на две опоры шарнирно, нагрузки приложены сосредоточено в $1/3$ пролета балки. Сечение 1-1 участок на котором действует изгибающий момент, сечение 2-2 участок на котором действуют изгибающие и поперечные силы.

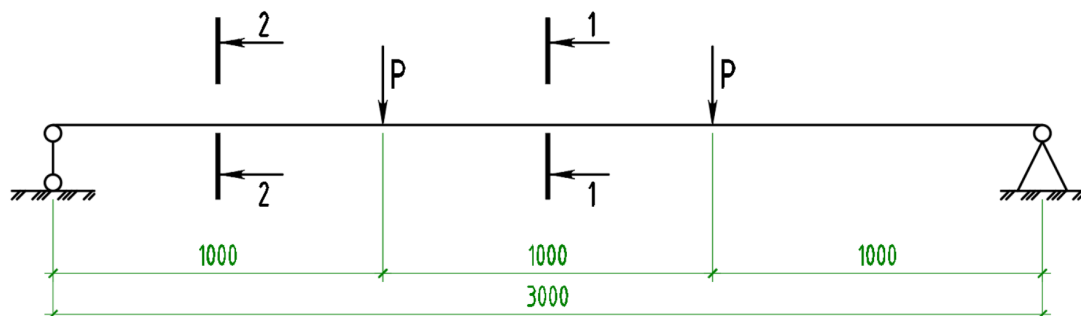


Рис. 2 – Расчетная схема балки
Fig. 2 – The design scheme of the beam

Расчетная модель на рис. 3, собрана в SpaceClaim ПК Ansys [[ansys.com](https://www.ansys.com)].

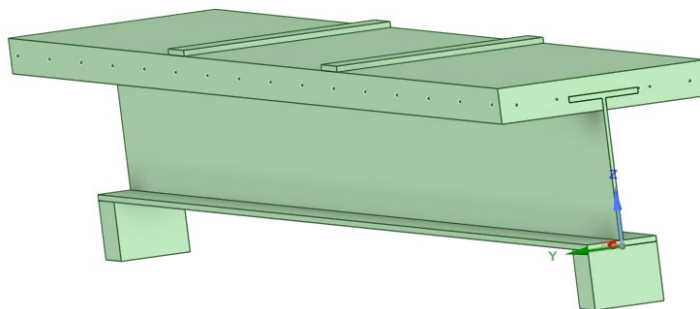


Рис. 3 – Расчетная модель в SpaceClaim
Fig. 3 – Calculation model in SpaceClaim

Характеристики материалов приняты нелинейными.

Для бетона принята диаграмма работы в соответствии с диаграммой деформации бетона на сжатие и растяжение предложенная академиком Н.И. Карпенко [20], рис. 4. В ПК Ansys [[ansys.com](https://www.ansys.com)] задана теория прочности и пластичности Menetrey-Willam, модель разупрочнения бетона HSD 6 (Hardening-Softening and Dilatation). Заданы нормативные значения бетона В25 рис. 5.

Для стали принята кусочно-линейная диаграмма в соответствии с приложением В1. Свод правил стальные конструкции 16.13330.2017 [21] рис. 6. Заданы нормативные значение стали С245 рис. 7.

Характеристики работы материала для арматуры заданы линейной сталью, т.к. выполняет роль конструктивной, в расчете не учитывается.

Для тумбочек, которые имитируют опоры и для пластин, которые имитируют пресс, характеристики работы материала заданы линейной сталью.

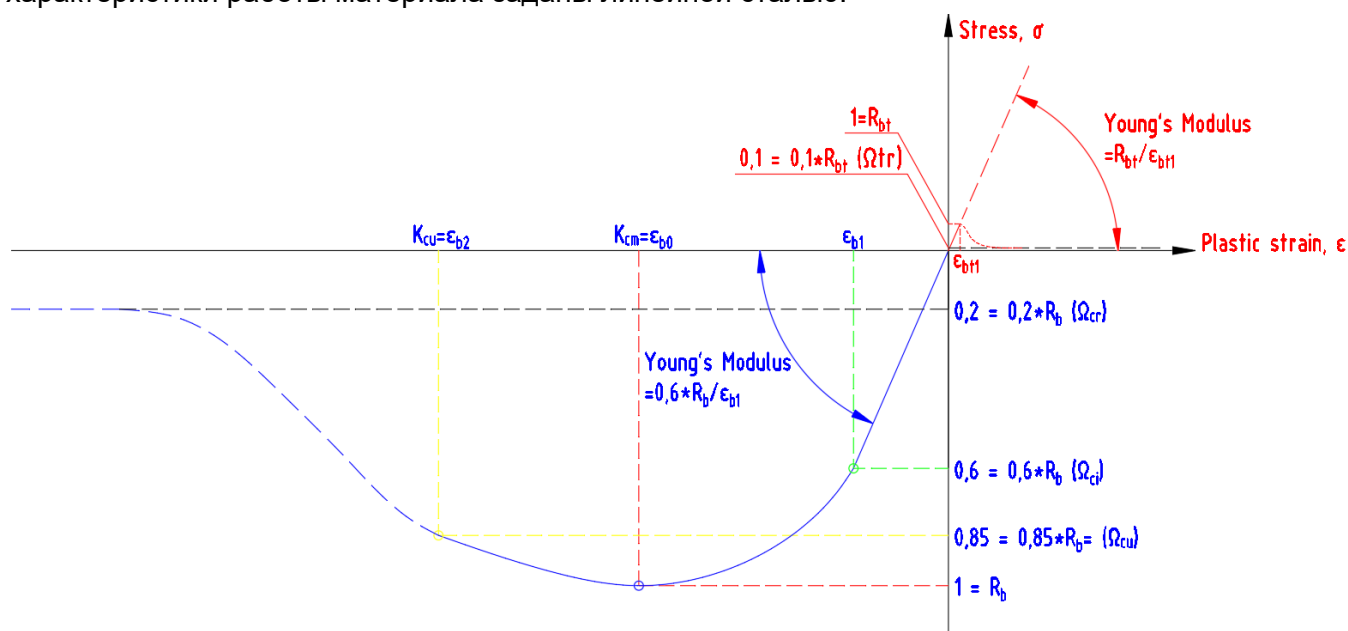


Рис. 4 – Экспоненциальная диаграмма работа бетона, адаптированная к теории Менетри-Виллама

Fig. 4 – Exponential diagram of concrete performance adapted to the Menetrey-Willam theory

Properties of Outline Row 4: B25_V3				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2400	kg m ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
6	Young's Modulus	30000	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,2		
8	Bulk Modulus	1,6667E+10	Pa	
9	Shear Modulus	1,25E+10	Pa	
10	Menetrey-Willam			
11	Menetrey-Willam Base			
12	Uniaxial Compressive Strength	18,5	MPa	
13	Uniaxial Tensile Strength	1,55	MPa	
14	Biaxial Compressive Strength	22,2	MPa	
15	Dilatancy Angle	13	degree	
16	Softening			
17	Active Table	Exponential		
18	Plastic Strain at Uniaxial Compressive Strength	0,0015008		
19	Plastic Strain at Transition from Power Law to Exponential Softening	0,0028584		
20	Relative Stress at Start of Nonlinear Hardening	0,6		
21	Residual Relative Stress at Transition from Power Law to Exponential Softening	0,85		
22	Residual Compressive Relative Stress	0,2		
23	Mode 1 Area Specific Fracture Energy	155,55	N m ⁻¹	
24	Residual Tensile Relative Stress	0,1		

Рис. 5 – Характеристики бетона, заданные в ПК Ansys
 Fig. 5 – Concrete characteristics specified in the PC Ansys

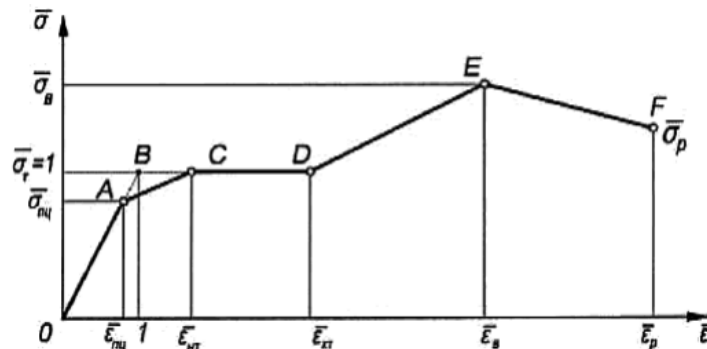


Рис. 6 – Кусочно-линейная диаграмма работы стали
 Fig. 6 – Piecewise linear diagram of steelwork

Properties of Outline Row 10: S245				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
6	Young's Modulus	2,06E+05	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,3		
8	Bulk Modulus	1,7167E+11	Pa	
9	Shear Modulus	7,9231E+10	Pa	
10	Multilinear Isotropic Hardening	Tabular		
11	Scale	1		
12	Offset	0	MPa	

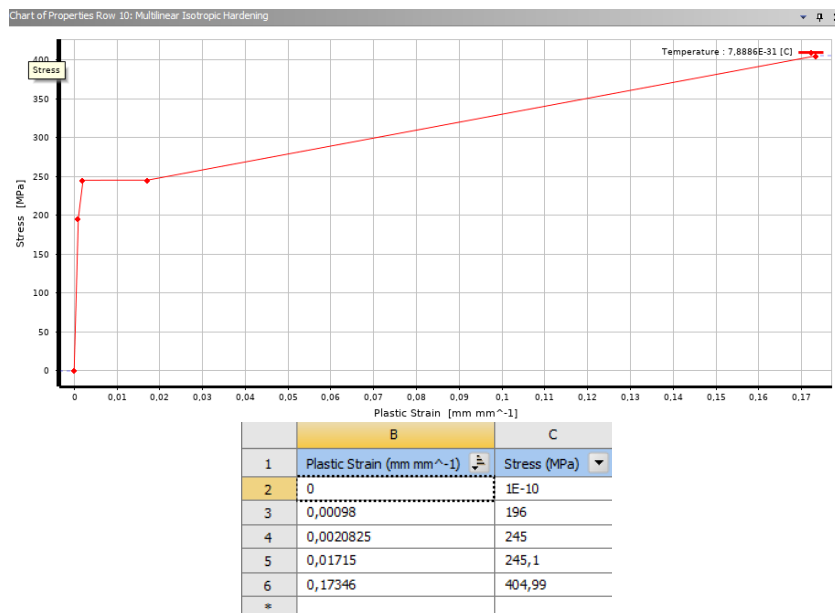


Рис. 7 – Характеристики стали, заданные в ПК Ansys
Fig. 7 – Steel characteristics specified in the PC Ansys

Приняты следующие контакты между элементами сечения: 1) между тумбочками 1 и 2 и нижней полкой двутавра значение «Rough» и «Frictional» с коэффициентом 0.5 [22]-[23] для имитации шарнирных опор; 2) между бетонной плитой и частью двутавра которая заделана в плиту значение «bonded», т.е. трение между элементами отсутствует за счет обжатия бетонной плитой стальную балку и адгезионных свойств материалов; 3) между стальными пластинами которые находятся над плитой и самой плитой значение «bonded», имитирует давление от пресса.

Приняты следующие граничные условия: 1) на нижнюю поверхность опор задана «Fixed Support» моделирует жесткую заделку; 2) на боковые грани бетонной плиты поперек балки задан «Displacement» которая ограничивает перемещение по Y.

На первом шаге задается загрузка от собственного веса конструкции значение «Standard Earth Gravity», на втором шаге задается нагрузка от условного пресса на две поверхности пластины значение «Force», с силой по 150000 N.

Для анализа результатов необходимо вывести следующие данные: 1) Normal Stress (нормальные напряжения); 2) Shear Stress (касательные напряжения); 3) Equivalent Total Strain (относительные деформации); 4) Total Deformation (полные деформации); 5) Force Reaction (опорная реакция) [24].

3 Results and Discussion

Отказ сечение зафиксирован по фактору достижение предельных относительных деформации в сжатой зоне бетона $\varepsilon_{b2} = 0.0035$, согласно пункту 6.1.20 [25], на 1.8467 секунды, можно определить несущую способность композитной балки, т.к. на 1 секунде прикладывался собственный вес конструкции, вычитаем это время, тогда получаем $P_{ult} = (150000 \cdot 2) \cdot 0.8467 = 254010 \text{ N} = 25.9 \text{ т}$.

Общие деформации (прогибы) на рис. 8, для сечения 26.877 мм, что превышает требование приложения Д, свод правил нагрузки и воздействия [26], для пролета максимальный прогиб $L/150=20 \text{ мм}$.

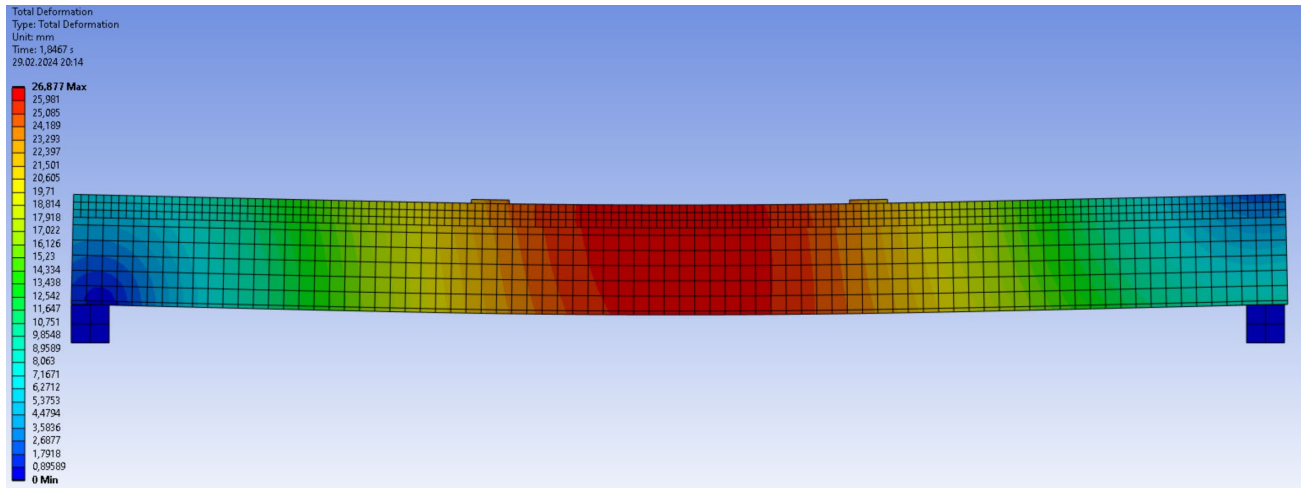


Рис. 8 – Прогиб балки
Fig. 8 – Deflection of the beam

Результаты расчетов при нагрузке P_{ult} в сечении 1–1 для бетонной плиты. Нормальное напряжение на рис. 9, локально зафиксированы сжимающие напряжения 25.147 МПа, что превышает сопротивление бетона на сжатие $R_{b,n}=18.5$ МПа. Относительные деформации на рис. 10, составляют 0.00243 мм/мм, не превышает максимально допустимые деформации $\varepsilon_{b2} = 0.0035$. Максимальные касательные напряжения на рис. 11–12, участок контакта со стальной балкой составляет 0.0297 МПа.

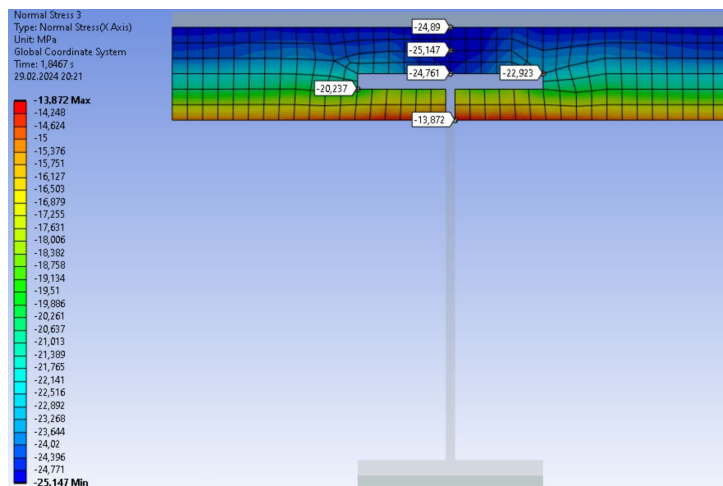


Рис. 9 – Нормальные напряжения
Fig. 9 – Normal stress

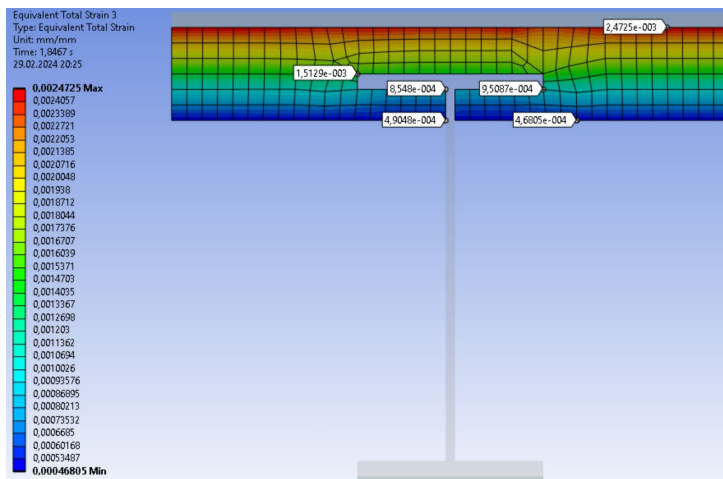


Рис. 10 – Относительные деформации
Fig. 10 – Equivalent strain

Mirsayapov I.; Pavlov M.

Resistance of a composite beam in the area of bending moment and transverse forces

2024; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 111 Article No 11101. doi: 10.4123/CUBS.111.01

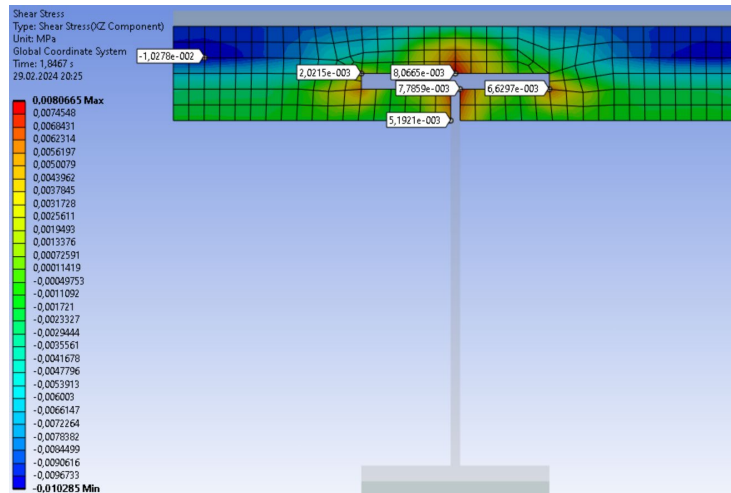


Рис. 11 – Касательные напряжения XZ
Fig. 11 – Shear stress XZ

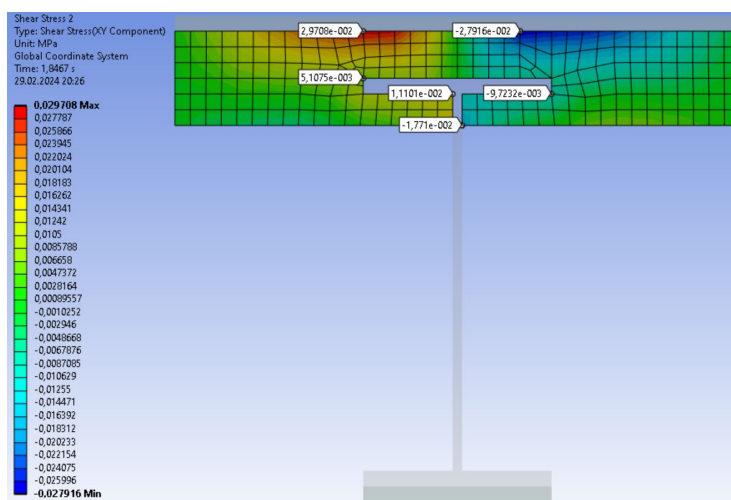


Рис. 12 – Касательные напряжения XY
Fig. 12 – Shear stress XY

Результаты расчетов при нагрузке P_{ult} в сечении 1–1 для стальной балки. Нормальное напряжение на рис. 13, в растянутой зоне 247.41 МПа, что превышает значение сопротивления стали для упругой работы $R_y=245$ МПа, в сжатой зоне 135.11 МПа. Относительные деформации на рис. 14, в растянутой зоне составляют 0.006295 мм/мм, превышает значение упругой работы 0.00098 мм/мм. Касательные напряжения в стенке на рис. 15, составляют 0.602 МПа. Касательные напряжения в полке на рис. 16, составляют 0.16133 МПа.

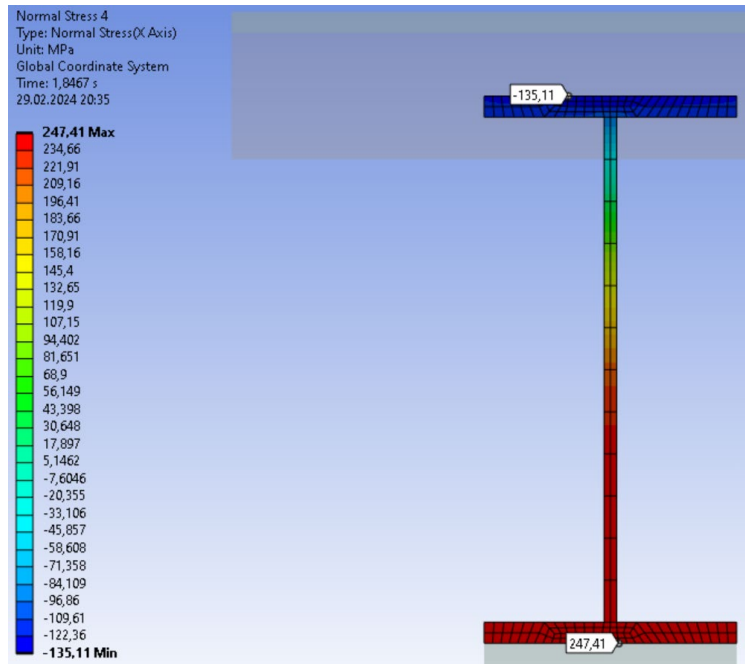


Рис. 13 – Нормальные напряжения
 Fig. 13 – Normal stress

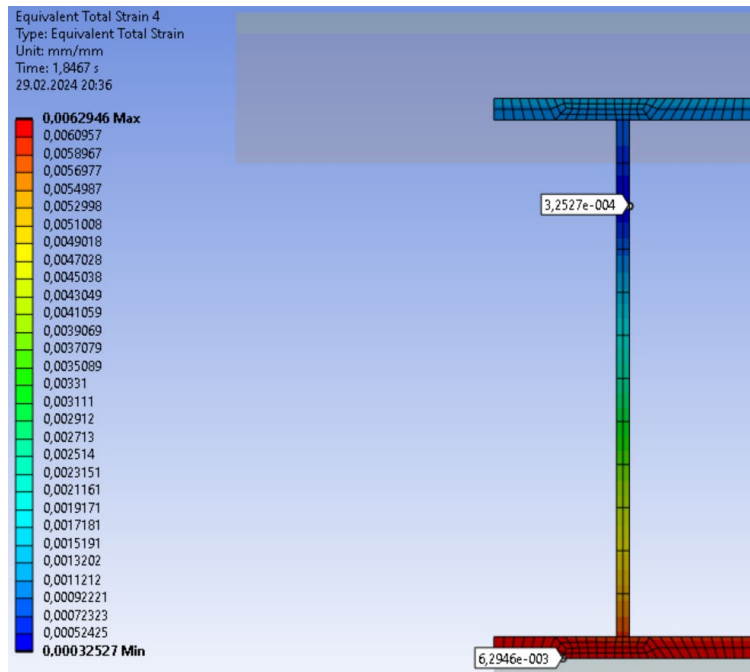


Рис. 14 – Относительные деформации
 Fig. 14 – Equivalent strain

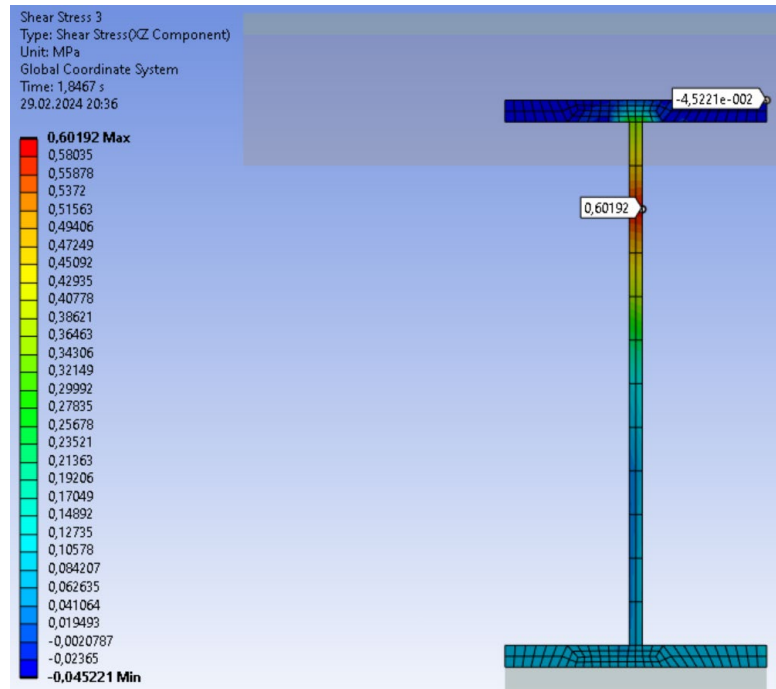


Рис. 15 – Касательные напряжения XZ
Fig. 15 – Shear stress XZ

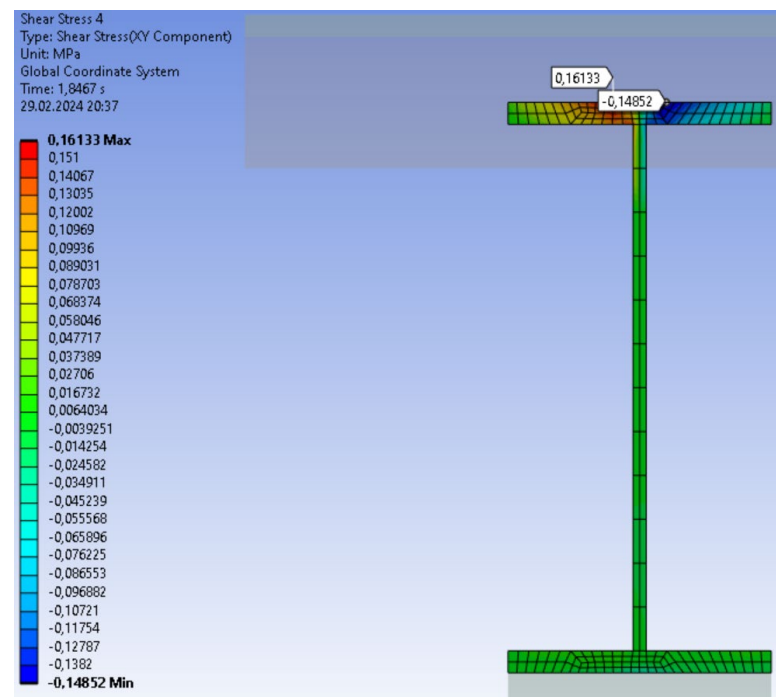


Рис. 16 – Касательные напряжения XY
Fig. 16 – Shear stress XY

Из полученных результатов в сечение 1–1, на участке действия изгибающих моментов, можно представить эпюры напряжений в следующем виде на рис. 17, при нагрузке, соответствующей P_{ult} , пренебрежем вклад арматуры в несущую способность сечения.

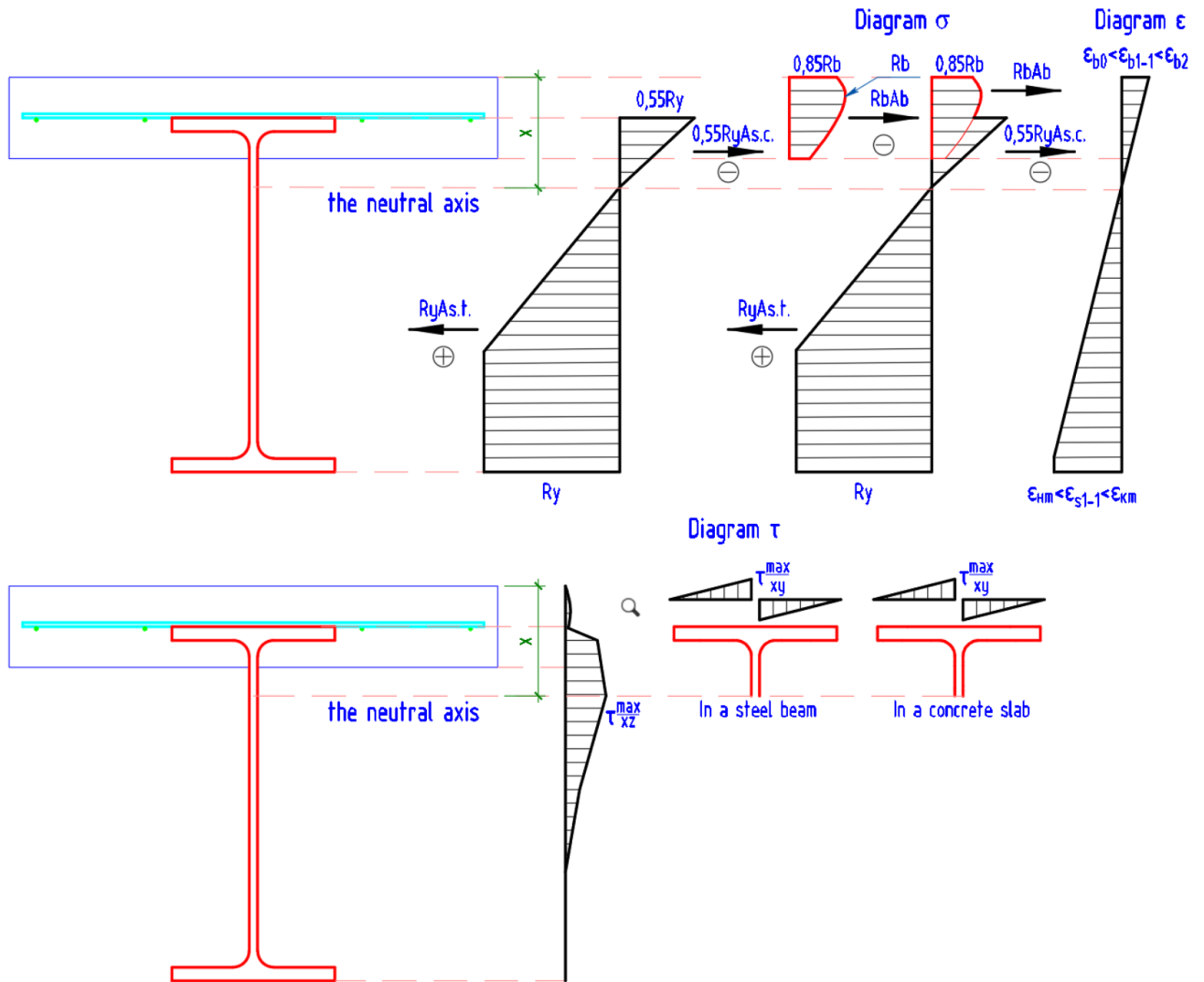
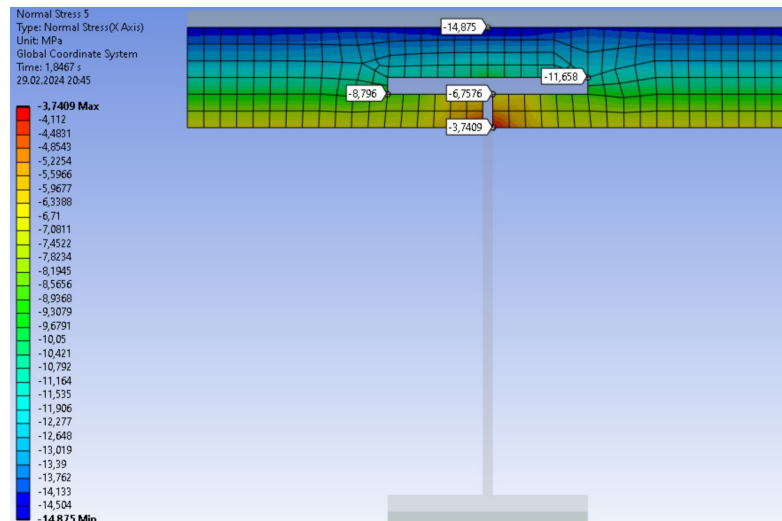


Рис. 17 – Эпюры напряжений
Fig. 17 – Stress diagrams

Результаты расчетов при нагрузке P_{ult} в сечении 2–2 для бетонной плиты. Нормальные напряжения на рис. 18, зафиксированы сжимающие напряжения 14.875 МПа, что не превышает сопротивление бетона на сжатие $R_b, n=18,5$ МПа. Относительные деформации на рис. 19, составляют 0.001285 мм/мм, не превышает максимально допустимых для сжатой зоны $\epsilon_{b2} = 0.0035$. Максимальные касательные напряжения на рис 20–21, участок контакта со стальной балкой составляет 3.7562 МПа.



Mirsayapov I.; Pavlov M.

Resistance of a composite beam in the area of bending moment and transverse forces

2024; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 111 Article No 11101. doi: 10.4123/CUBS.111.01

Рис. 18 – Нормальные напряжения
Fig. 18 – Normal stress

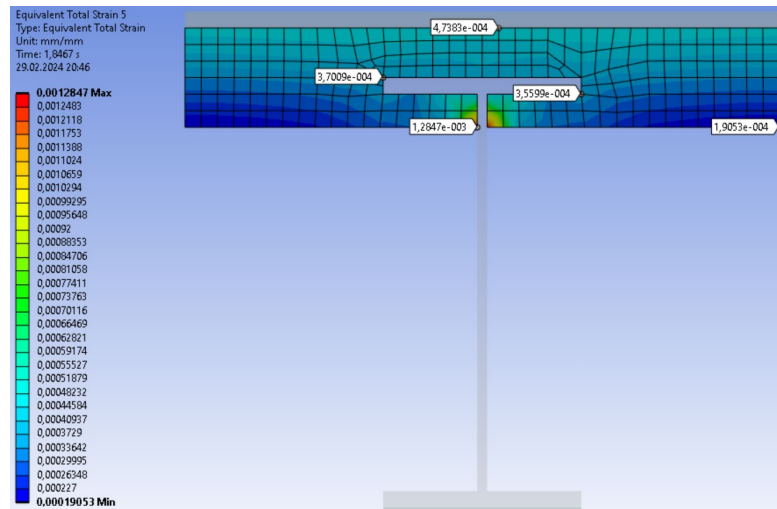


Рис. 19 – Относительные деформации
Fig. 19 – Equivalent strain

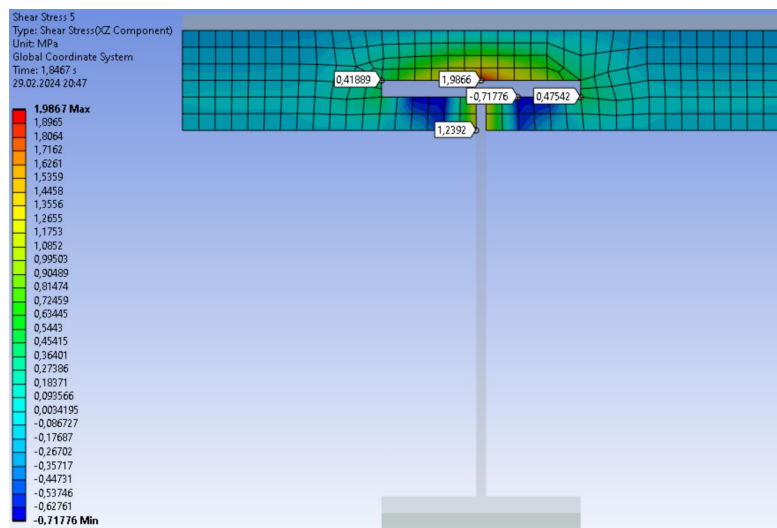


Рис. 20 – Касательные напряжения XZ
Fig. 20 – Shear stress XZ

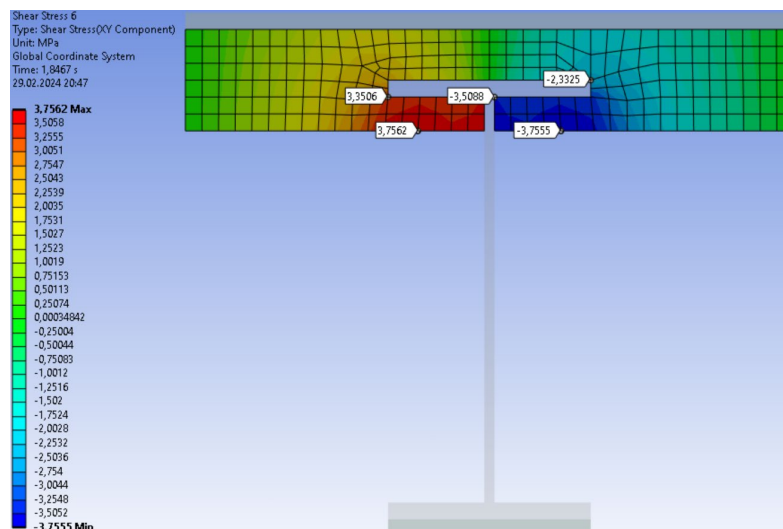


Рис. 21 – Касательные напряжения XY
Fig. 21 – Shear stress XY

Результаты расчетов при нагрузке P_{ult} в сечение 2–2 для стальной балки. Нормальные напряжения на рис. 22, в растянутой зоне 121.34 МПа, в сжатой зоне 40.247 МПа. Относительные деформации на рис. 23, в сжатой зоне стенки составляют 0.001576 мм/мм, превышает значение упругой работы 0.00098 мм/мм. Касательные напряжения в стенке на рис. 24, составляют 91.837 МПа. Касательные напряжения в полке на рис. 25, составляют 16.522 МПа.

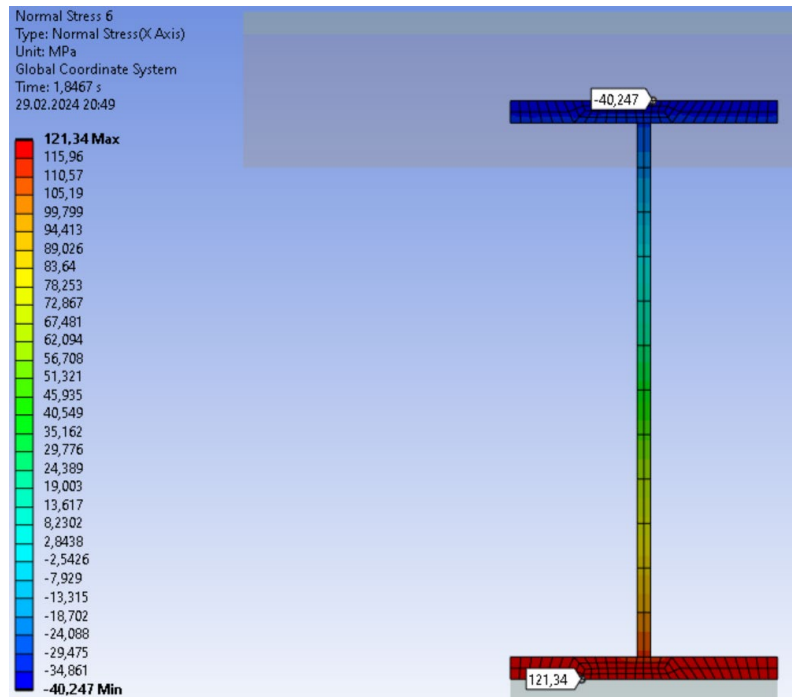


Рис. 22 – Нормальные напряжения
Fig. 22 – Normal stress

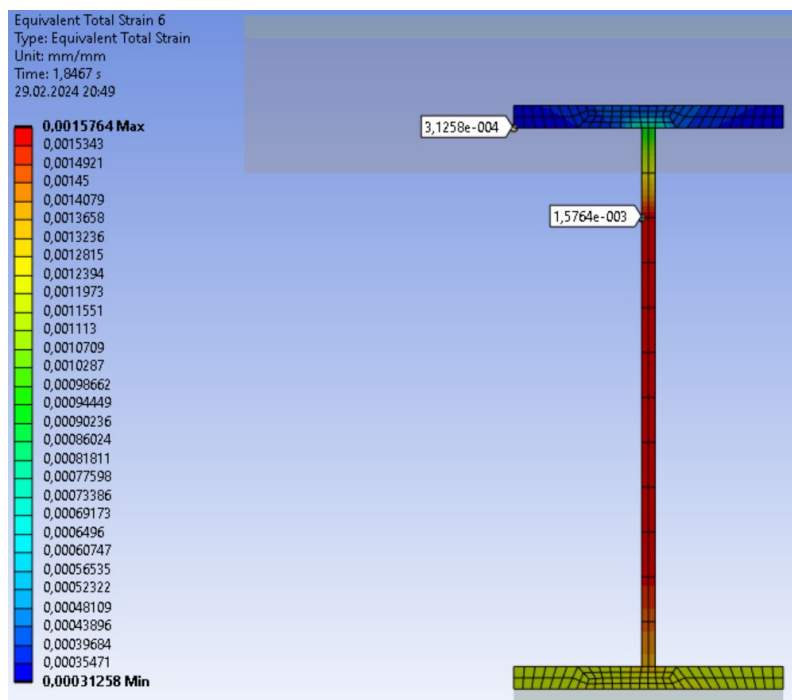


Рис. 23 – Относительные деформации
Fig. 23 – Equivalent strain

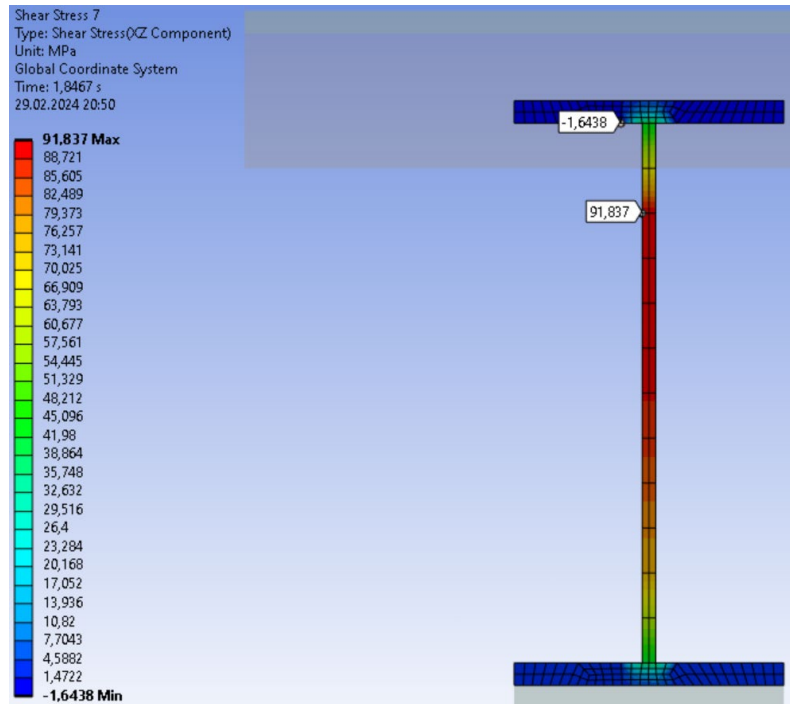


Рис. 24 – Касательные напряжения XZ
Fig. 24 – Shear stress XZ

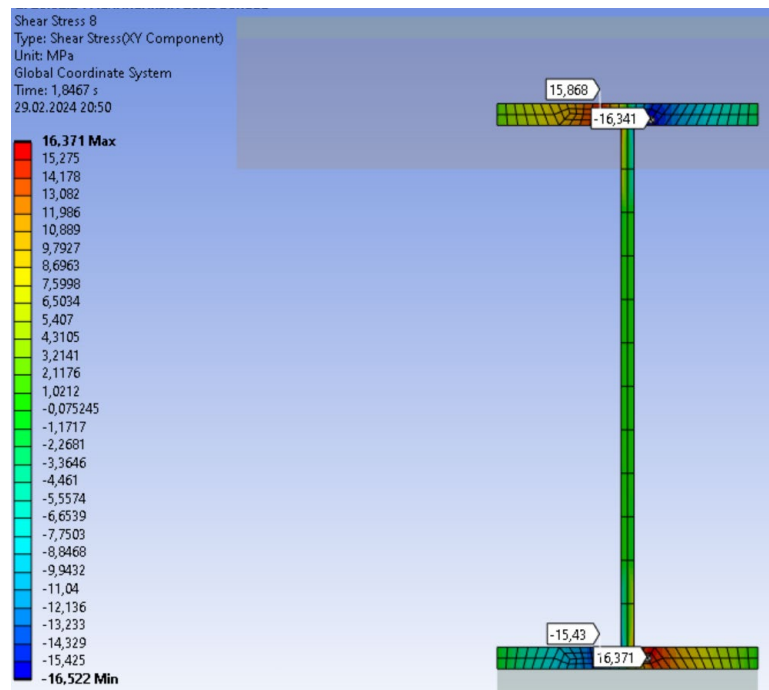


Рис. 25 – Касательные напряжения XY
Fig. 25 – Shear stress XY

Из полученных результатов в сечении 2–2, на участке действия изгибающего момента и поперечных сил, можно представить эпюры напряжений в следующем виде на рис. 26, при нагрузке, соответствующей P_{ult} , пренебрежем вклад арматуры в несущую способность сечения.

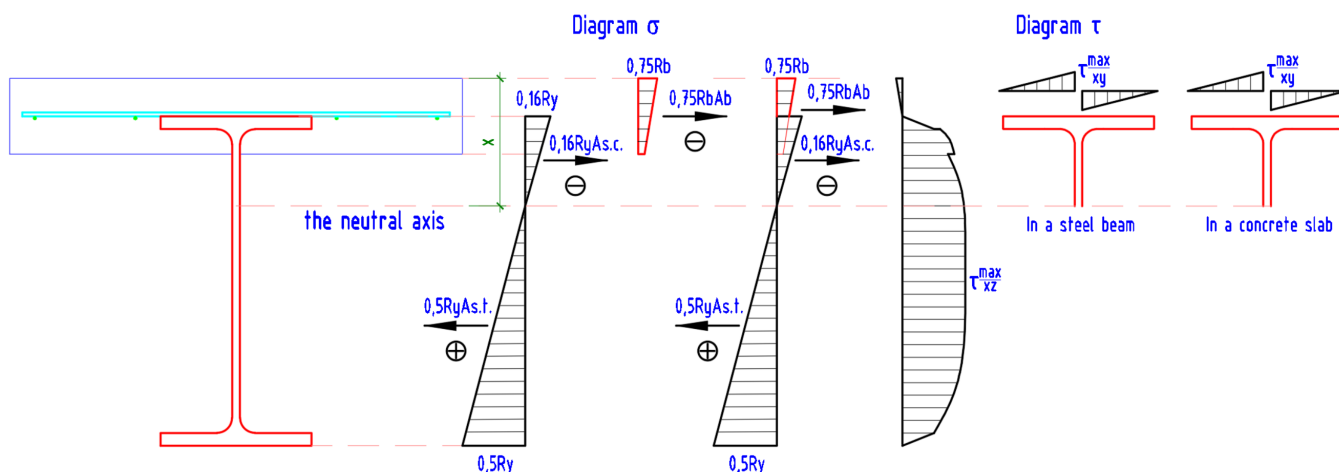


Рис. 26 – Эпюры напряжений
Fig. 26 – Stress diagrams

4 Conclusions

Из полученных результатов напряженно-деформированного состояния композитной балки можно сделать следующий вывод:

1. В сечение 1–1 на участке действия изгибающего момента, бетонная плита полностью находится в сжатой зоне, работает максимально эффективно, трещины не образуются, стальная балка напряжение достигли предельных для упругой работы, сталь находится на площадке текучести;
2. В сечение 2–2 на участке действия изгибающего момента и поперечных сил, бетонная плита полностью находится в сжатой зоне, работает максимально эффективно, трещины не образуются, стальная балка работает упруго, возникает проблема потери устойчивости стенки балки;
3. Определен участок отказа сечения в зоне действия изгибающего момента, достигается при максимальных деформация в сжатой зоне бетона, в зоне действия изгибающего момента и поперечных сил, происходит при потере устойчивости стенки двутавровой стальной балки;
4. Определена высота сжатой зоны сечения на основе напряженно-деформированного состояния;
5. Предложены эпюры нормальных и касательных напряжений на участке изгибающего момента и на участке действия изгибающего момента и поперечных сил для данного вида сечения композитной балки;
6. Получены результаты касательных напряжений в сечениях, для дальнейших исследований в данной области;
7. Намечены дальнейшие исследования: подбор оптимального соотношения высоты бетонной плиты и стальной балки; проанализировать другие варианты сечений балок сварные, гофрированные, перфорированных и т.д., разработать аналитический метод расчета данных сечений методом предельных усилий и диаграммным методом.

5 Conflict of Interests

The authors declare that there is no conflict of interest. The authors made equivalent contributions to the publication.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

References

1. Tarasikova V.E., Kryuchkov A.A. (2020) Theoretical and experimental studies of steel-reinforced concrete floors on steel profiled flooring. *Collection of reports of the IV International* Mirsayapov I.; Pavlov M. Resistance of a composite beam in the area of bending moment and transverse forces 2024; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **111** Article No 11101. doi: 10.4123/CUBS.111.01



- Scientific and Practical Conference.* Belgorod, 2020. 86-91
<https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=wbwzvc>.
2. Tonkih G. P., Chesnokov D. A. (2022) Shear Resistance of Nailed Connectors in Composite Beams With Steel Decking. *Industrial and Civil Engineering*, **7**, 17–23. <https://www.doi.org/10.33622/0869-7019.2022.07.17-23>.
 3. SP 266.1325800.2016. Steel-reinforced concrete structures. Design rules. <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/809/266.pdf>.
 4. V.I. Travush, D.V. Konin, A.S. Krylov (2018) Strength of composite steel and concrete beams of highperformance concrete. *Magazine of civil engineering*. **3(79)**, 36-44. <https://www.doi.org/10.18720/MCE.79.4>.
 5. D.V. Konin, A.S. Krylov (2018) Strength assessment of high-performance concrete and fiber concrete beams. *Vestnik of the sic construction*. **3(18)**, 79-90. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35322730>.
 6. Zamaliev F.S., Tamrazyan A.G. (2023) To the evaluation of the carrying capacity of steel concrete beams on the basis of bent profiles. *Vestnik MGSU*, 8(18), 1220–1229. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.8.1220-1229>.
 7. Tusnin A.R., Akhramochkina T.I. (2020) Steel-reinforced concrete floors with the use of bent steel profiles. *Industrial and Civil Engineering*, **5**, 10–14. <https://www.doi.org/10.33622/0869-7019.2020.05.10-14>.
 8. Akhramochkina T.I. (2021) Theoretical and experimental studies of steel-reinforced concrete structures that have bent steel sections. *Construction: Science and Education*; **11(4)**, 27-40. <https://www.doi.org/10.22227/2305-5502.2021.4.3>.
 9. Tusnin A.R. (2022) Numerical calculation of steel-concrete structures. *Construction: Science and Education*. **12(1)**, <https://www.doi.org/10.22227/2305-5502.2022.1.5>.
 10. Konin D.V. (2023) Rigidity of partially concreted steel beams and steelreinforced floors. *Vestnik TGASU – Journal of Construction and Architecture*. **25 (3)**, 128-142. <https://www.doi.org/10.31675/1607-1859-2023-25-3-128-142>.
 11. Veselov V. V. (2023) Application of steel-reinforced concrete structures in bridge structures. *Izvestia of the St. Petersburg University of Railway Engineering*, **3(20)**, 633-644, <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2023-3-633-644>.
 12. Dolganov A.I. (2020) The reliability of steel-concrete beams in the process of reconstruction. *Construction: Science and Education*, **4(10)**, 1-10, <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2020.4.1>.
 13. Mirsayapov Ilshat T., Gimatdinov I.M. (2022) Study of the stress-strain state of steelreinforced concrete beams with partial embedding of I-sections in concret. *News KSUAE*, **3(61)**, 56-66. https://www.doi.org/10.52409/20731523_2022_3_56.
 14. Mirsayapov Ilshat T., Gimatdinov I.M. (2023) 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*, **2(64)**, 6-16. https://doi.org/10.52409/20731523_2023_2_6.
 15. Mirsayapov Ilshat T., Valiev A.T. (2023) Study of the stress-strain state of steel reinforced concrete beams of the new type railway bridges. *News KSUAE*, **1(63)**, 31-42. https://www.doi.org/10.52409/20731523_2023_1_31.
 16. Derysz J., Lewinski P.M., Wiech P.P. (2017) New concept of steel-reinforced concrete floor slab in the light of computation model and experimental research. *Procedia Engineering*, **193**, 168– 175. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.200>.
 17. Bily P., Fladr J., Kohoutkova A. (2017) Behavior of anchorage areas in the steel-concrete composite structure loaded by longitudinal shear forces. *Procedia Engineering*, **172**, 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.029>.
 18. Monaco A., Pagnotta S., Colajanni P., Mendola L. (2023) Innovative connections for steelconcrete-trussed beams: a patented solution. *Procedia Structural Integrity*, **44**, 1925–1932. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.246>.
 19. M. Rabie, W. Zaki, S. Zaky. (2016) Strengthening steel i-beam with concrete flange. *Proc. of Fifth International Conference On Advances in Civil, Structural and Mechanical Engineering -ACSM 2016*. <https://doi.org/10.15224/978-1-63248-105-4-21>.
 20. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. Moscow. 413 p.
 21. SP 16.13330.2017. Steel structures. <https://docs.cntd.ru/document/456069588>.
 22. Vasiliev V.N., Anishchenkov V.M., Boyko M.M. Experimental research methodology the

Mirsayapov I.; Pavlov M.

Resistance of a composite beam in the area of bending moment and transverse forces

2024; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **111** Article No 11101. doi: 10.4123/CUBS.111.01



joint work of the steel element and concrete on the surfaces of their contact. *Vestnik Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. **4(27)**, 217-225. http://vestnik-donnasa.ru/?page_id=28.

23. Vasiliev V.N., Mironov A.N., Anishchenkov V.M., Ignatenko D.R., Experimental studies of joint the work of the steel element and concrete on the surface their contacts. *Vestnik Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. **3(28)**, 155-165. http://vestnik-donnasa.ru/?page_id=28.

24. Mirsayapov I.I., Apkhadze G., Simakov V. (2023) Numerical analysis of nonlinear behavior of reinforced concrete structures on solid models. Monograph. *Kazan State University of Architecture and Engineering*, 211 p. URL: <https://elibrary.ru/fwqpiq>.

25. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. <https://docs.cntd.ru/document/554403082>.

26. SP 20.13330.2016. Loads and impacts. <https://minstroyrf.gov.ru/docs/13673>.

27. Karpenko N.I., Radaykin O.V (2017) About construction of concrete deformation diagrams at uniaxial short-time tension/compression with the use of the damage deformation criterion. *Bulletin of Civil Engineers*, **6**, 71-78. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-71-78>.

28. Korsun V.I., Vinogradova N.A., Shvets G.A. (2020) Bearing Capacity of Reinforced Concrete T-beams with a Steel Profile. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **89**, 8904. <https://doi.org/10.18720/CUBS.89.4>.

29. Szumigala, M., Polus, Ł. (2017) An Numerical Simulation of an Aluminium-concrete Beam. *Procedia Engineering*, **172**, 1086–1092. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.02.167>.

30. Zamaliev F.S., Zakirov M.A. (2018) Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under longterm. *Magazine of Civil Engineering*, **83(7)**, 12–23. <https://doi.org/10.18720/MCE.83.2>.

31. Tonkih G.P., Chesnokov D.A. (2021) An experimental study of a shear connection of steelreinforced concrete slabs with angle shear studs. *Vestnik MGSU*, **2(16)**, 144–152. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.2.144-152>.

32. Korsun V.I., Morozov V.I., Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V. (2023) Nonlinear Deformation Model for Analysis of Temperature Effects on Reinforced Concrete Beam Elements. *Buildings*, **13**, 1–16. <https://doi.org/10.3390/buildings13112734>.