



Research Article

Received: January 12, 2024

Accepted: January 28, 2024

Published: February 4, 2024

ISSN 2304-6295

Pliability of a composite rod glued into concrete

Tyukalov, Yury Yakovlevich.^{1*} Ashikhmin, Stanislav Eduardovich.¹ ¹ Vyatka State University, Kirov, Russian Federation; yutvgu@mail.ru (T.Y.Y.);ashihminstanislav@gmail.com (A.S.E.)Correspondence: * email yutvgu@mail.ru; contact phone [+79128218977](tel:+79128218977)

Keywords:

Precast concrete elements; Glued layer; Composite rods; Epoxy adhesive; Physical nonlinearity

Abstract:

The object of research is the connection of composite rods glued into concrete. The purpose of this work is to numerically study the stress-strain state of a glued composite rod under the action of a pull-out load. **Method.** To analyze the stress-strain state of the connection, a spatial finite element model was used. Physically nonlinear finite elements are used for specific modeling. For the calculations, a nonlinear diagram of the deformation of concrete and steel reinforcement were used, given in the regulatory documents for the design of reinforced concrete structures. Composite rods with epoxy adhesive are elastically deformed. The design scheme was modeled with spatial finite elements. **Results.** A numerical analysis of the stress-strain state of a glued joint was carried out using the example of a precast reinforced concrete frame. The results of structural calculations considering the compliance of the glued layer and without it were compared. The comparison results show that considering the flexibility of glued layer is not essential for the design; the maximum loads decreased by 5%.

1 Introduction / Введение

В настоящее время композитная арматура всё чаще используется в железобетонных и бетонных конструкциях, она замещает стальную и служит отличной альтернативой. В статье [1] сообщается о возможном применении композитной арматуры в малоэтажном строительстве, при армировании фундамента или возведении монолитных стен. Для увеличения возможного диапазона применения композитной арматуры в строительных конструкциях необходимо разработать нормативную базу, установить стандарты и нормы, определяющие качество арматуры, а также методы её контроля. Нормативная база сейчас не имеет должного обоснования и сейчас существует необходимость ее актуализации. Опубликованные в статьях [2]–[4] результаты свидетельствуют о значительном расхождении теоретических данных о появлении и развитии трещин от данных, полученных в ходе экспериментов. Примеры использования композитной арматурой можно найти в работах [5] – армирование асфальтобетона и [6] – армирование каменной кладки открытым способом с помощью матов.

Композитные материалы обладают более высокой прочностью, что может позволить создавать более легкие и прочные бетонные конструкции. Такие материалы обладают более высокой стойкостью к циклическим нагрузкам и другим внешним воздействиям, что может увеличить долговечность конструкций. В статьях [1], [7] приведено сравнение параметров композитной и стальной арматуры. Композитная арматура имеет более высокую коррозионную стойкость, что особенно важно для бетонных конструкций, которые подвержены воздействию агрессивных сред, таких как вода и соли, которые могут вызывать преждевременное разрушение стальной арматуры. Подтверждение эффективности и преимуществ композитной арматурой над стальной можно найти в статьях [8]–[10]. В статье [11] отмечается, что более тонкие волокна композитной арматуры имеют более высокие прочностные свойства. Это объясняется меньшим количеством дефектов в волокнах из-за меньшей площади сечения.

Tyukalov, Y.; Ashikhmin, S.

Pliability analysis of a composite rod glued into concrete;

2024; Construction of Unique Buildings and Structures; **110** Article No 11005. doi: 10.4123/CUBS.110.5



Для проверки теоретических значений, полученных в ходе численных экспериментов и расчётов, необходимо проведение испытаний. Эксперименты на выдергивание вклеенных композитных стержней на выдергивание из бетона позволят определить податливость клеевого слоя. В статье [12] описаны эксперименты, проведенные для изучения поведения стальной арматуры при выдергивании, а также для изучения характеристики сцепления бетона и арматурной стали при воздействии повышенной температуры. В результате экспериментов показано, что при продолжительном нагреве стальной арматуры сильно уменьшается прочность бетона. Так при 120 минутах нагрева прочность бетона уменьшается на 65.2%. В [13] представлены четырнадцать экспериментов, которые были проведены с целью исследования влияния типа бетона, глубины заделки и диаметра болта на особенности соединений.

В статьях [14]–[15] описываются экспериментальное исследование на выдергивание композитной арматуры. Данные исследования подтверждают возможное использование композитных стержней в теле несущих конструкций. В [15] представлены эксперименты, выполненные с целью изучения поведения при выдергивании на высокой скорости глубоко установленных полос из углепластика, приклеенных с помощью гибкого вязко-эластичного пластикового клея к кирпичной кладке из глины. Статьи [16]–[18] посвящены использованию эпоксидного клея для соединения стальных элементов.

В работе [19] даётся обширный обзор клеевых соединений, включающий в себя анализ результатов экспериментальных исследований. В статье подробно рассматриваются различные характеристики таких соединений при циклическом воздействии нагрузок и влиянии различных факторов. Примеры использования эпоксидного клея для новых вариантов соединения бетонных элементов представлены в статьях [20] и [21]. Совмещение клеевого соединения из эпоксидного клея и композитной арматуры для соединения двух железобетонных элементов также представлено в работах [22]–[25].

В исследовании, представленном в работе [26], сравниваются сухое соединение и соединение с использованием эпоксидного клея. Результаты исследования, приведенного в статье, показывают, что сухое соединение сборных железобетонных блоков открывается при нагрузке на 27% меньше, чем соединение с эпоксидным связующим.

В работе [27] представлены два новых метода соединения колонны с балкой с использованием стальных пластин. Эти соединения отличаются простотой в монтаже и не требуют временных опор. Испытания, проведенные на четырех образцах, показали, что прочность соединений сборных железобетонных элементов при изгибе достаточна для предложенной в статье конструкции. Исследование [28] рассматривает применение металлических закладных в тело бетона для создания болтовых сухих соединений между колонной и балкой в железобетонных конструкциях. Авторы исследования отмечают, что в настоящее время недостаточно информации о применении таких сухих соединений, что усложняет эксплуатацию таких типов соединений сборного железобетона.

В статье [29] отмечается необходимость замены стальной арматуры на композитную, обусловленную воздействием коррозии и длительными сроками монтажа. В статье приводятся результаты испытания новых соединений сборных железобетонных конструкций с использованием полимера, армированного стекловолокном. В статье [30] представлен узел соединения в пролёте балки, выполненный с использованием металлических пластин и болтов. Показано, что разрушающая нагрузка у составной железобетонной балки со стыком в пролёте выше, чем у монолитной. Соединение сборных железобетонных элементов применяется не только в каркасах зданий. Например, в статье [31] исследуются выносные соединения железобетонных плит, образующих подземный арочный мост. В статье приведены полномасштабные исследования данного моста.

Анализ современных научных публикаций показывает, что тема данной публикации является актуальной и недостаточно исследованной. В частности, нет исследований по анализу работы композитных стержней в узловых соединениях железобетонных конструкций. Цель данной работы состоит в проведении численного исследования вклеенного соединения композитных стержней в бетонный блок с целью получения данных о его податливости при различных уровнях нагружения. Анализ соединения необходимо выполнить с учетом физической нелинейности деформирования бетона, стальной арматуры и композитных стержней, находящихся в зоне соединения между двумя железобетонными элементами. Полученные данные о податливости клеевого слоя позволят получить более точное представление о соединении железобетонных элементов с использованием композитных стержней.

Tyukalov, Y.; Ashikhmin, S.

Pliability analysis of a composite rod glued into concrete;

2024; Construction of Unique Buildings and Structures; **110** Article No 11005. doi: 10.4123/CUBS.110.5

2 Materials and Methods / Материалы и методы

При использовании для соединения железобетонных блоков клеиваемых композитных стержней необходимо учесть их дополнительную податливость за счет деформаций клеевого слоя. Чтобы не вводить клеевой слой в конечно-элементную схему, можно определить дополнительную податливость из расчета на выдергивание композитного стержня из бетонного элемента и использовать ее для определения пониженной жесткости конечных элементов композитных стержней, расположенных между соединяемыми блоками.

В данной работе рассматривается бетонный элемент с поперечным сечением 150x150мм и длиной 400мм. В центре бетонного элемента, в отверстие диаметром 40мм и глубиной 300мм, клеивается композитный стержень диаметром 20мм (рис. 1). Композитный стержень выступает за грань бетонного элемента на величину $\Delta l = 60\text{mm}$. Бетонный элемент также дополнительно усилен стальной арматурой (рис. 2).

В силу симметрии задачи, для уменьшения количества конечных элементов рассчитывается четверть бетонного элемента (рис. 1 и 2) с соответствующими граничными условиями. К выступающей наружной грани композитного стержня прикладывается равномерно распределенная нагрузка, которая моделирует выдергивающую силу.

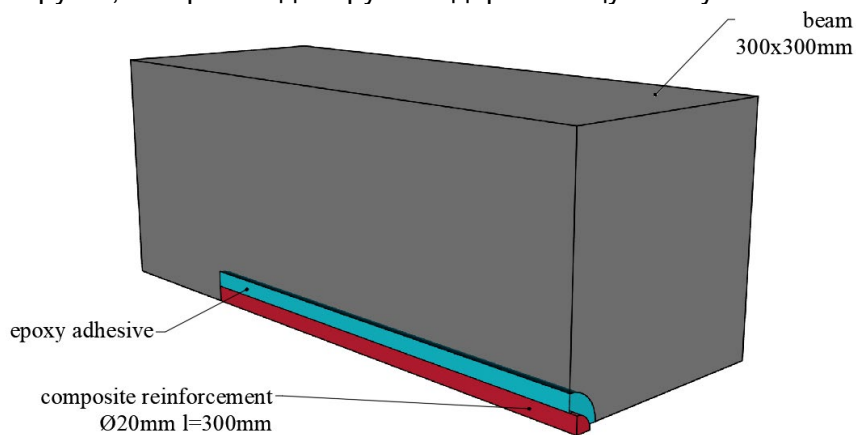


Рис.1 – Общий вид железобетонного элемента
Fig.1 – General form of the reinforced concrete element

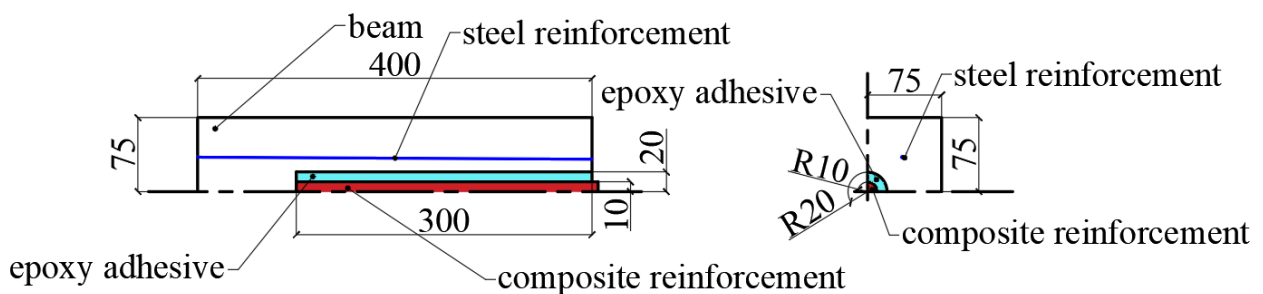


Рис.2 – Схема армирования железобетонного элемента
Fig.2 – Reinforcement scheme of concrete element

Расчет стержня на выдергивание выполняется методом конечных элементов в программном комплексе ЛИРА-САПР (<https://www.liraland.com>). Бетон моделируется 6- и 8-гранными объемными конечными элементами (рис. 3) с учётом физической нелинейности. Диаграмма напряжение–деформация для бетона принимается в виде экспоненциальной зависимости (рис. 4). Характерный размер сетки для объемных конечных элементов бетона принят 4мм.

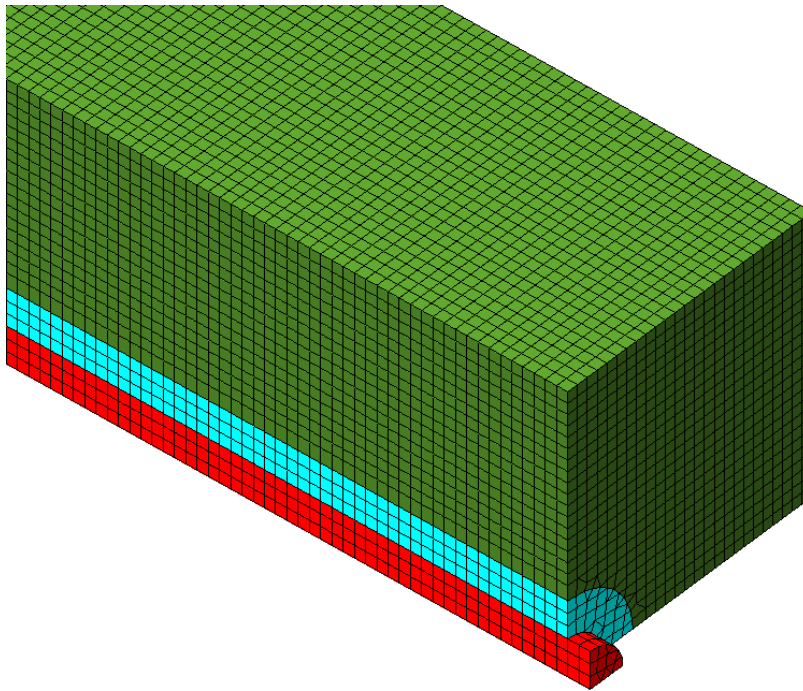


Рис.3 – Фрагмент конечно-элементной модели бетонного элемента
Fig.3 – Finite element model fragment of the concrete element

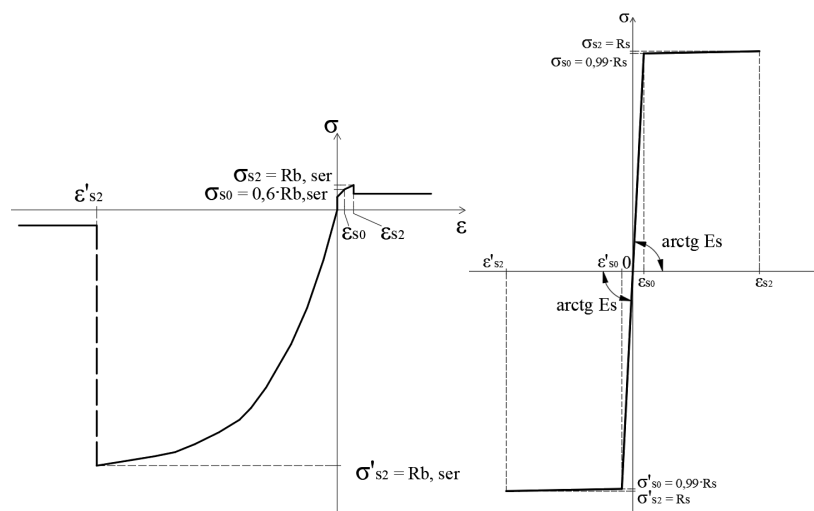


Рисунок ранее опубликован в статье Tyukalov, Y. and Ashikhmin, S. (2023) Quickly constructed joint of precast concrete arch elements. *Construction of Unique Buildings and Structures*; 107. <https://doi.org/10.4123/CUBS.107.3>.

Рис.4 – Диаграмма нелинейного деформирования бетона и стальной арматуры
Fig.4 – The non-linear deformation diagrams of concrete and steel reinforcement

Для предотвращения разрушения бетонного элемента от растягивающих напряжений в элемент добавлена стальная арматура, которая моделируется линейными конечными элементами с учётом физической нелинейности (рис. 4). Композитная арматура деформируются упруго и моделируется 6- и 8-гранными объёмными конечными элементами без учёта физической нелинейности. Композитные стрежни вклеиваются в тело бетона с помощью эпоксидного клея, который также моделируется объёмными КЭ без учета физической нелинейности.

Целью расчета является определение разности перемещений $\Delta(q_y)$ конца композитного стержня и бетонной грани, из которой выступает стержень, в зависимости от величины выдергивающей силы. Далее определяем зависимость деформаций выступающей части стержня от величины растягивающих напряжений $\sigma = q_y$:

$$\varepsilon(\sigma) = \frac{\Delta(q_y)}{\Delta l} \quad (1)$$

Полученная зависимость задается в виде кусочно-ломанной диаграммы $\sigma - \varepsilon$ (для растяжения) для конечных элементов композитных стержней, которые располагаются в промежутках между сборными блоками. Для отрицательных деформаций (сжатие) принимается линейная зависимость с начальным модулем упругости. Таким образом будут учтены деформации клеевого слоя растянутых связующих композитных стержней.

Данные о податливости при растяжении, за счет деформаций клеевого слоя, композитных стержней необходимы для более точного расчета узлового соединения сборной железобетонной рамы. Исследование такого узла, без учета возможной податливости клеевого соединения композитных стержней, опубликовано в статье [20].

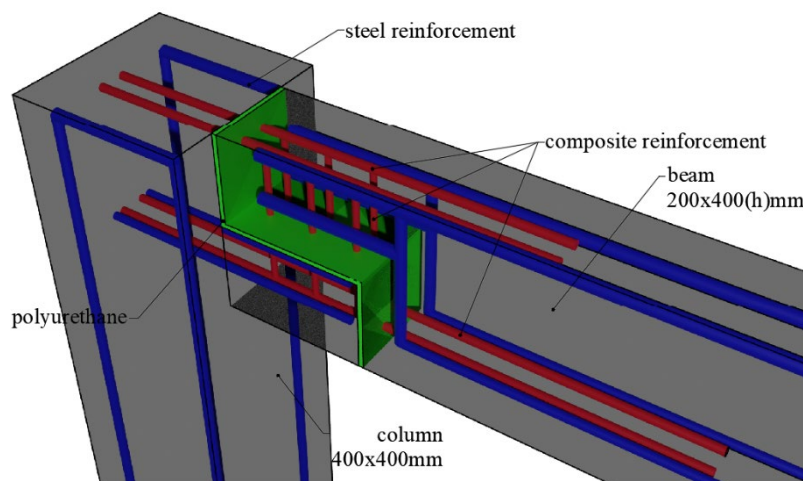


Рисунок ранее опубликован в статье Tyukalov, Y. and Ashikhmin, S. (2023) *The joint of precast reinforcement frame elements using composite rods. Construction of Unique Buildings and Structures*; 109. <https://doi.org/10.4123/CUBS.109.10>.

Рис.5 – Соединение элементов сборной железобетонной рамы
Fig.5 – Precast concrete frame connection

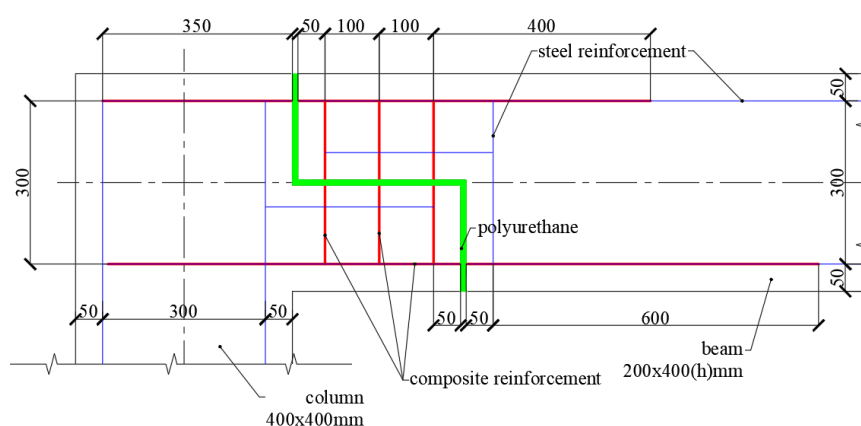


Рисунок ранее опубликован в статье Tyukalov, Y. and Ashikhmin, S. (2023) *The joint of precast reinforcement frame elements using composite rods. Construction of Unique Buildings and Structures*; 109. <https://doi.org/10.4123/CUBS.109.10>.

Рис.6 – Схема стыка сборной железобетонной рамы
Fig.6 – Connection diagram of a prefabricated reinforced concrete frame

3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение

Для численного анализа податливости соединения композитной арматуры с бетоном выполнен расчет бетонного стержня. Рассматривались нагружения горизонтальной равномерно-распределенной нагрузкой q_y наружной грани композитного стержня (рис. 7).

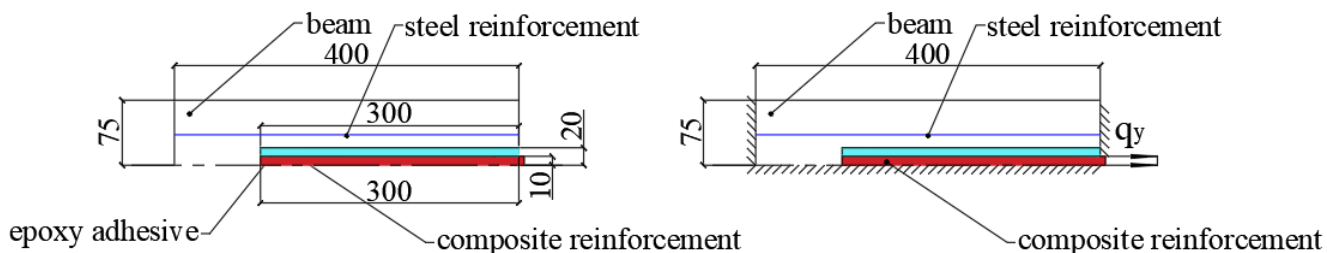


Рис.7 – Схема бетонного элемента с клееным композитным стержнем
Fig.7 – Diagram of a beam with a glued composite rod

Бетонный элемент армирован стальной арматурой класса А-III. Композитный стержень с модулем упругости равным 50000 МПа обозначен на рисунках красным цветом. Диаметр композитной арматуры равен 20мм. Модуль упругости для эпоксидного клея принят равным $E=75000$ МПа и обозначен бирюзовым цветом. Нелинейный расчет выполнен шаговым методом, количество шагов для нагружений равно 10. Расчетные выдергивающие усилия приняты из исследования, опубликованного в статье [20].

Результаты расчета (рис. 8) показывают, что максимальное напряжение композитной арматуры достигается в выступающей из железобетонного блока арматуре и имеет линейный характер снижения напряжения к середине стержня.

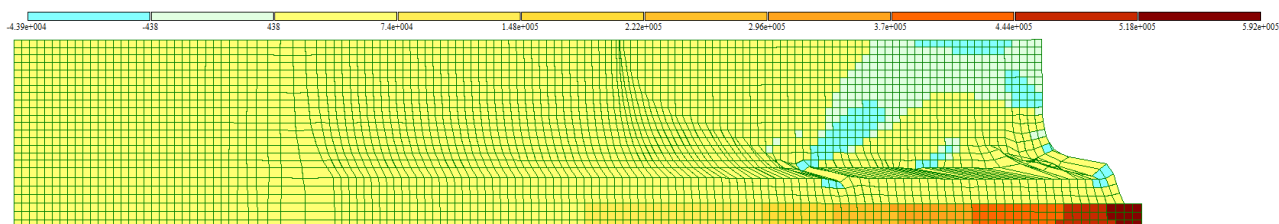


Рис.8 – Напряжения в балке
Fig.8 – Beam stress

По результатам физически нелинейного расчёта на выдёргивание клеенной композитной арматуры получена зависимость деформаций композитного стержня от напряжений (табл. 1). Деформация в стержне определяется разностью перемещений конца композитного стержня и ближайшей точки грани бетонного элемента (1).

Таблица 1. Зависимость деформаций композитного стержня от напряжений
Table 1. Dependence of composite rod deformations on stresses

ε	σ , кН/м ²
-0.02	-500000
0	0
0.00878	55067.6
0.01767	110135
0.02317	165203
0.03567	220270
0.04583	275338
0.05783	330406
0.072	385473
0.08783	440541
0.1055	495608
0.1245	550676

0.2

650000

При расчете сборной железобетонной рамы, полученная диаграмма деформирования (рис. 9) применяется к композитным стержням, находящимся в стыке между колонной и балкой (красные элементы на рис. 10).

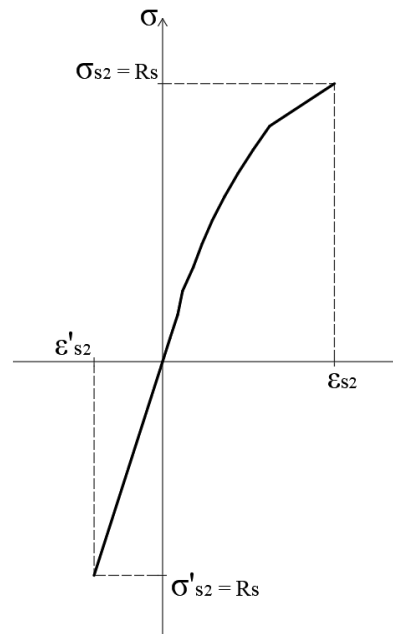


Рис.9 – Диаграмма деформирования композитных стержней, расположенных между блоками
Fig.9 – The deformation diagram of composite rods located between blocks

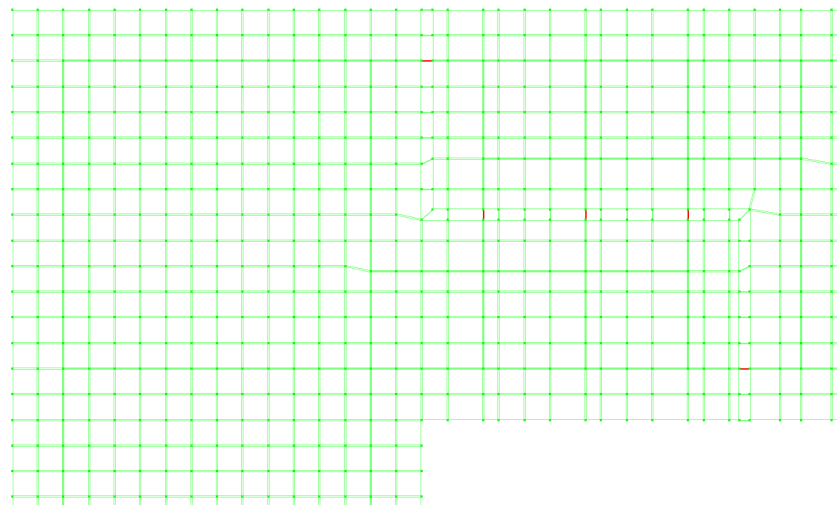


Рис.10 – Конечные элементы композитных стержней, расположенные между блоками
Fig.10 – The composite rods finite elements located between blocks

Для оценки влияния податливости клеевого соединения был выполнен расчет сборной железобетонной рамы [20] с учетом податливости клеевого соединения и без. Рассматривалось два варианта нагружения: равномерно распределенной вертикальной нагрузкой, приложенной к ригелю, и горизонтальной сдвигающей силой, приложенной к верху колонн.

На рис. 11–12 предоставлены результаты расчетов для первого и второго вариантов нагружения соответственно. Красная линия обозначает результаты, полученные с учетом податливости клеевого слоя, синим – без учета.

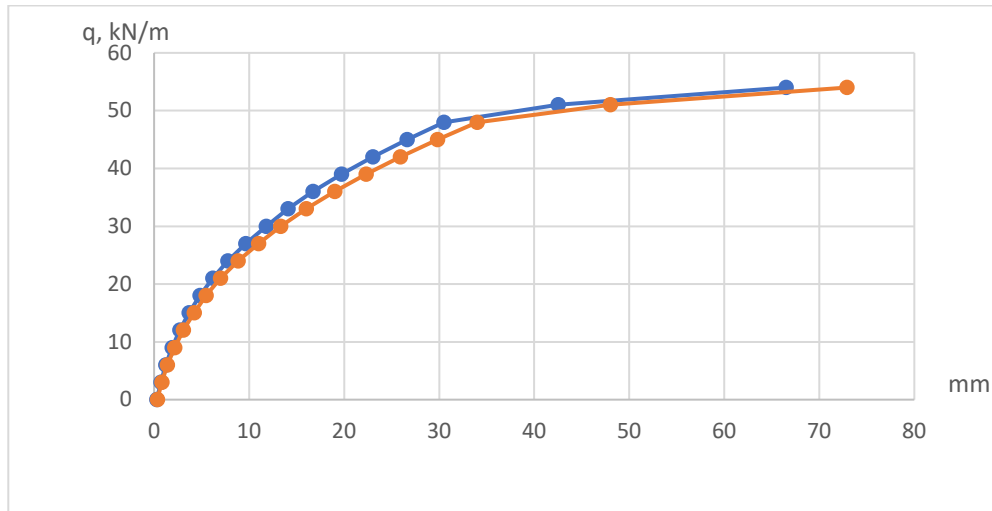


Рис.11 – Вертикальное перемещение точки середины ригеля.
Fig.11 – Vertical displacement of the crossbar center point.

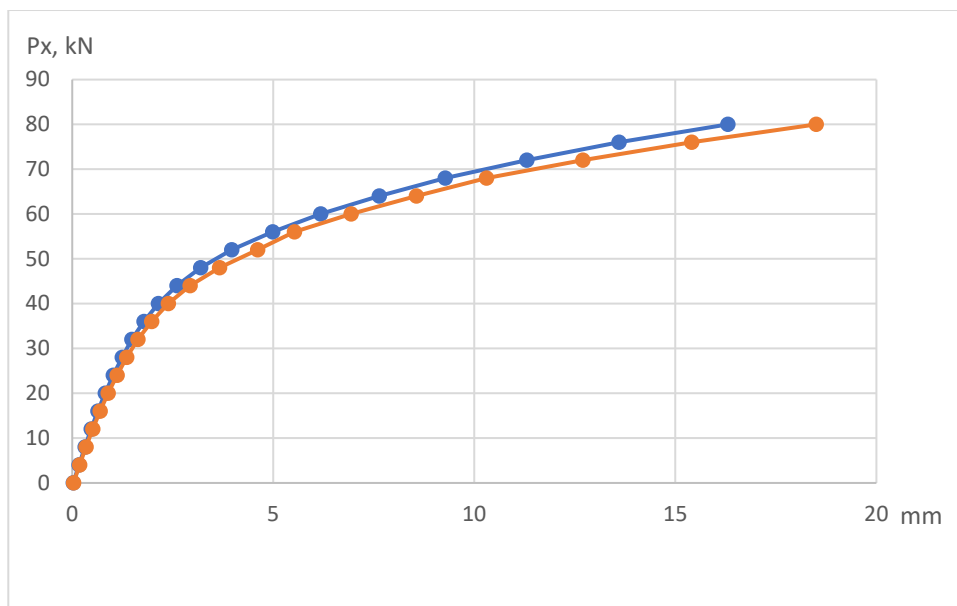


Рис.12 – Горизонтальное перемещение верха рамы
Fig.12 – Horizontal displacement of the frame top

Расчеты не выявили критичных изменений в напряжениях бетона. В схеме с учётом податливости напряжения в бетоне уменьшились не более чем на 5%.

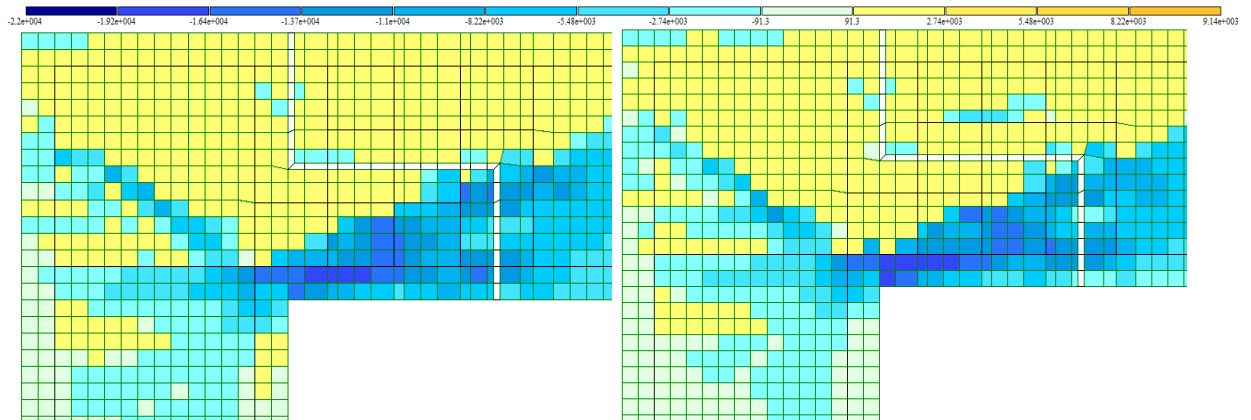


Рис.13 – Напряжения в бетоне для двух расчетов
Fig.13 – Stresses in concrete for two calculations



Сравнение расчетов показывает, что учёт податливости клеевого слоя композитного стержня увеличивает деформации всей схемы, но даёт более реальную оценку состоянию конструкции под действием нагрузки. При этом предельная максимальная вертикальная и горизонтальная нагрузка уменьшилась не более чем на 5% от первоначальной.

Для определения более реального состояния конструкции под нагрузкой предполагается выполнить ряд экспериментальных опытов по вытягиванию вклеенных в бетон композитных стержней.

4 Conclusions / Заключение

1. Выполнен численный анализ податливости клеевого слоя при выдергивании вклеенного композитного стержня из бетонного блока. По результатам физически нелинейного расчёта получена зависимость деформаций композитного стержня от напряжений с учетом податливости клеевого слоя.
2. Проведена оценка влияния податливости клеевого слоя на величины перемещений и разрушающей нагрузки сборной железобетонной рамы. Исследования показали, что максимальная вертикальная и горизонтальная разрушающая нагрузка при учете податливости клеевого слоя, уменьшилась не более чем на 5%.
3. Для более точной оценки податливости клеевого слоя планируется выполнить экспериментальные исследования по вытягиванию вклеенных композитных стержней из бетона.

References

1. Sergeeva, E. A. (2023) Justification of the rationality of use of composite reinforcement in low-rise construction. *Scientific review. Technical sciences*, **5**, 26-30. <https://doi.org/10.17513/srts.1449>.
2. Xue, W., Hu, X. and Song, J. (2021) Experimental study on seismic behavior of precast concrete beam-column joints using UHPC-based connections. *Structures*, Elsevier Ltd, **34**, 4867–4881. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.10.067>.
3. Mirsayapov, I. T., Antakov I. A., Antakov A. B. (2021) To the design of the deflections of flexural concrete members reinforced with fiber-reinforced polymer bars. *Vestnik MGSU*, **4**, 413-428. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.4>.
4. Antakov, I. A., Suleymanov A. M. (2023) Deformability of flexural concrete members reinforced with fiber-reinforced polymer bars. *News KSUAE*, **3(65)**, 101-109. https://doi.org/10.52409/20731523_2023_3_101.
5. Chao Zhang, Feiting Shi, Peng Cao, Ketong Liu. (2022) The fracture toughness analysis on the basalt fiber reinforced asphalt concrete with prenotched three-point bending beam test. *Case Studies in Construction Materials*, **16**, e01079. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01079>.
6. Mrozek M., Mrozek.D. (2020) Analysis of location of composites reinforcement of masonry structures with use topological optimization. *Applications in Engineering Science*, **3**, 100015. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2020.100015>.
7. Panichev A., Usoltsev A., Ivanov A., Poljakov S. (2022) Increasing the durability of pavement on operational steel spans by reinforcement with composite materials. *Transportation Research Procedia*, **63**, 1927-1935. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.213>.
8. Lastovka, A. V., Ivanova A. V. (2022) Simulation of combined action of reinforcement and concrete on the example of composite reinforcement. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*, **12(2)**, 174-181. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-174-181>.
9. Semenenko S. Ya., Marchenko S. S., Novikov A. E. (2022) Comparison of calculated and experimental results of strength tests of concrete beams with composite reinforcement for hydraulic engineering construction. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp*, **4(68)**, 434-440 (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-04-51>.
10. Mohd Basri Che Bakar, Raizal Saifulnaz Muhammad Rashid, Mugahed Amran, Mohd Saleh Jaafar. (2023) Evaluation of the bond-dependent factors for CFRP bars used as structural reinforcement: A critical review. *Case Studies in Construction Materials*, **18**, e02064. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02064>.



11. Yago S. Chaves, Pedro Henrique P.M. da Silveira, Lucas de M. Neuba, Raí Felipe P. Junio, Matheus P. Ribeiro, Sergio N. Monteiro, Lucio Fabio C. Nascimento. (2023) Evaluation of the density, mechanical, thermal and chemical properties of babassu fibers (*Attalea speciosa*.) for potential composite reinforcement. *Journal of Materials Research and Technology*, **23**, 2089–2100. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.01.100>.
12. Tattukolla Kiran, N. Anand, Mervin Ealiyas Mathews, Balamurali Kanagaraj, A. Diana Andrushia, Eva Lubloy, Jayakumar G. (2022) Investigation on improving the residual mechanical properties of reinforcement steel and bond strength of concrete exposed to elevated temperature. *Case Studies in Construction Materials*, **16**, e01128. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01128>.
13. Lu, K., Xu, Q., Wang, M., Yao, Y. and Wang, J. (2021) Anchorage performance of bolt connection embedded in thin UHPC members. *Structures*, Elsevier Ltd, **34**, 1253–1260. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.060>.
14. Alexander Lin, Claudia P. Ostertag. (2021) Interaction between high performance fiber reinforced cement-based composites and steel reinforcement. *Engineering Structures*, **247**, 113173. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113173>.
15. Ö.S. Türkmen, S.N.M. Wijte, J. Vaculik, B.T. De Vries, J.M. Ingham. (2020) High-speed pullout behavior of deep-mounted cfrp strips bonded with a flexible adhesive to clay brick masonry. *Structures*, **28**, 1153–1172. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.026>.
16. T.J.S. Oliveira, R.D.S.G. Campilho, M.G. Cardoso, I.J. Sánchez-Arce. (2022) Cohesive zone analysis of torsional tubular joints with an epoxy adhesive. *Procedia Structural Integrity*, **41**, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.05.009>.
17. Mohamed Nasr Saleh, Michal K. Budzik, Milad Saeedifar, Dimitrios Zarouchas, Sofia Teixeira De Freitas. (2022) On the influence of the adhesive and the adherend ductility on mode I fracture characterization of thick adhesively-bonded joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **115**, 103123. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2022.103123>.
18. Marco Lamberti, Aurélien Maurel-Pantel, Frédéric Lebon. (2023) Experimental and numerical evaluation of hydro-thermal ageing's effects on adhesive connections in offshore structures. *Ocean Engineering*, **290**, 116303. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.116303>.
19. F.Castro Sousa, P. Zamani, A. Akhavan-Safar, L.F.M. da Silva. (2024) A comprehensive review of the S-N fatigue behaviour of adhesive joints. *Journal of Advanced Joining Processes*, **9**, 100178. <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2023.100178>.
20. Leon Chernin, Moray Newlands, Noushin Khosravi. (2024) Flat-face epoxy-bonded concrete joints loaded in torsion: Physical modelling. *Construction and Building Materials*, **411**, 134558. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134558>.
21. Mohamed H. El-Naqeeb, Reza Hassanli, Yan Zhuge, Xing Ma, Allan Manalo. (2024) Numerical investigation on the behaviour of socket connections in GFRP-reinforced precast concrete. *Engineering Structures*, **303**, 117489. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.117489>.
22. Tyukalov, Yu. Ya., Ashikhmin S. E. (2023) Quickly constructed joint of precast concrete arch elements. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **2(107)**, 10703. <https://doi.org/10.4123/CUBS.107.3>.
23. Ashikhmin S.E., Tyukalov, Yu. Ya. (2023) The joint of precast reinforcement frame elements using composite rods. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **4(109)**, 60. <https://doi.org/10.4123/CUBS.109.10>.
24. Augustus Nelson, L., Al-Allaf, M. and Weekes, L. (2020) Analytical modelling of bond-slip failure between epoxy bonded FRP and concrete substrate. *Composite Structures*, Elsevier Ltd, **251**, 112596. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112596>.
25. Abd El-Hameed, S., Eladawy, M., Agamy, M.H. and Haggag, H. (2022) Experimental and numerical investigation on the performance of adhesive steel-dowels used in precast reinforced concrete elements. *Structures*, Elsevier Ltd, **40**, 49–63. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.006>.
26. Saibabu, S., Srinivas, V., Sasmal, S., Lakshmanan, N. and Iyer, N.R. (2013) Performance evaluation of dry and epoxy jointed segmental prestressed box girders under monotonic and cyclic loading. *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, **38**, 931–940. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.068>.



27. Tadi Beni, M.B. and Madhkhan, M. (2022) Experimental study on two innovative ductile moment-resisting precast concrete beam-column connections. *Structures*, Elsevier Ltd, 39, 559–572. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.03.059>.
28. Figueira, D., Ashour, A., Yıldırım, G., Aldemir, A. and Şahmaran, M. (2021) Demountable connections of reinforced concrete structures: Review and future developments. *Structures*, 34, 3028–3039. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.09.053>.
29. Hassanli, R., Vincent, T., Manalo, A., Smith, S.T., Gholampour, A., Gravina, R. and Zhuge, Y. (2021) Connections in GFRP reinforced precast concrete frames. *Composite Structures*, Elsevier Ltd, 276, 114540. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114540>.
30. Zhou, W., Xu, Z. and Ma, C. (2022) Flexural behavior of precast concrete beams in-span assembled with bolt-steel plate joints. *Structures*, Elsevier Ltd, 43, 1291–1304. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.07.067>.
31. Jeon, S.H., Moon, H.D., Sim, C. and Ahn, J.H. (2021) Construction stage analysis of a precast concrete buried arch bridge with steel outriggers from full-scale field test. *Structures*, Elsevier Ltd, 29, 1671–1689. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.12.050>.