

И.И. ШИШОВ¹, М.С. СЕРГЕЕВ¹, М.С. ЛИСЯТНИКОВ¹, М.В. ЛУКИН¹, С.И. РОЩИНА¹

¹ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия

СОВМЕСТНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РИГЕЛЯ С КОЛОННАМИ В ПОКРЫТИИ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Аннотация. Ригель поперечной рамы одноэтажного промышленного здания – стропильная конструкция, перекрывающая пролет, в типовом решении опирается на колонны шарнирно. В середине пролета возникают большие изгибающие моменты, пропорциональные квадрату пролета, увеличивающие высоту железобетонного ригеля и здания в целом. В работе предлагается жесткое соединение стропильной конструкции с надкрановой частью колонны, вызывающее перераспределение усилий. В примере это позволило уменьшить высоту сечения железобетонного ригеля от 1.4 м до 0.8 м и массу от 28.8 т до 20.16 т. При этом в середине пролета изгибающие моменты уменьшились от 2.35 МНм до 0.76, а максимальные моменты, равные 1.29 МНм, действуют на небольших по протяженности участках около опор. Сечение надкрановых частей колонн несколько увеличилось, но в целом решение получилось более экономичным и высота покрытия и здания в целом уменьшилась на 0.6 м. Прогиб в середине пролета от нагрузки 0.0209 МН/м составил 0.0994 м при предельно допустимом значении 0.109 м.

Ключевые слова: Ригель поперечной рамы, большепролетные стропильные конструкции, перекрытие промышленных зданий.

I.I. SHISHOV¹, M.S. SERGEEV¹, M.S. LISYATNIKOV¹, M.V. LUKIN¹, S.I. ROSCHINA¹

¹Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

JOINT DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE CROSSBAR WITH COLUMNS IN THE COATING OF A SINGLE-STOUREY INDUSTRIAL BUILDING

Abstract. The crossbar of the transverse frame of a one-story industrial building is a truss structure that overlaps the span, in a typical solution it rests on columns pivotally. In the middle of the span there are large bending moments proportional to the square of the span, increasing the height of the crossbar and the building as a whole. The paper proposes a rigid connection of the truss structure with the crane part of the column, causing a redistribution of efforts. In the example, this made it possible to reduce the cross-section height of the crossbar from 1.4 m to 0.8 m and the weight from 28.8 t to 20.16 t. At the same time, in the middle of the span, the bending moments decreased from 2.35 MNm to 0.76, and the maximum moments equal to 1.29 MNm act on small sections near the supports. The cross section of the crane parts of the columns increased slightly, but in general the solution turned out to be more economical and the height of the coating and the building as a whole decreased by 0.6 m. The deflection in the middle of the span from the load of 0.0209 MN/m was 0.0994 m with a maximum permissible value of 0.109 m.

Keywords: Cross-frame crossbar, large-span rafter structures, floors of industrial buildings.

Введение

Применение железобетонных ригелей остаётся востребованным в строительстве, поэтому продолжается их изучение и совершенствование конструктивных особенностей [1-8]. Одноэтажные промышленные здания с пролетами до 30 м строятся для многих

© Шишов И.И., Сергеев М.С., Лисятников М.С., Лукин М.В., Рощина С.И., 2022

отраслей промышленности. Обычно это здания каркасного типа: колонны, защемленные в фундаментах, ригели, перекрывающие пролеты, и настил из ребристых плит длиной 6 или 12 м. В последнем случае добавляются еще подстропильные балки или фермы, направленные вдоль цеха и дающие дополнительные опоры стропильным конструкциям между колоннами.

Элементы покрытия довольно громоздки, требуют предварительного напряжения арматуры, трудоемки в изготовлении, транспортировании и монтаже; покрытие получается высоким и увеличивает высоту здания. Ребристые плиты в работу стропильных конструкций не вовлекаются и не усиливают их. Все это дает повод к поиску новых решений [9-18].

Метод

В работе [19] предлагается стропильная конструкция в виде невысокой рамы двускатного очертания со сборно-монолитным верхним поясом, в состав которого входит монолитная бетонная вставка, вовлекающая в работу конструкции торцевые ребра и часть полки ребристых плит.

В работе [20] предложена пространственная стропильная конструкция небольшой высоты, состоящая из двух плоских рам, соединенных перемычками в местах опирания ребристых плит. Верхний пояс коробчатого сечения шириной 2 м расположен в уровне плит, соединен с ними жестко и выполняет одновременно несущую и ограждающую функции. Шаг поперечных рам здания увеличен до 18 м.

В работах [21-23] стойки стропильной рамы выполнены из двух перекрестных стенок, одни из которых направлены вдоль рамы и сообщают ей наибольшую жесткость, другие перпендикулярны и дают опоры ребристым плитам. Между торцами плит укладывается монолитный бетон, частично включающий плиты в состав железобетонного ригеля, что и позволяет уменьшить высоту покрытия.

В работе [24] железобетонный ригель состоит из двух плоских рам и общего верхнего пояса коробчатого сечения шириной 1.8 м, выполняющего одновременно несущую и ограждающую функции. Опираются ригели на спаренные колонны – две колонны на небольшом расстоянии друг от друга.

В работе [25] рассматривается консольно-балочная подстропильная система одноэтажного промышленного здания, состоящая из балок двух типов: первые опираются на спаренные колонны и имеют консоли в обе стороны, вторые опираются на консоли первых. Торцы смежных балок второго типа соединяются поверху стержнями внешнего армирования, которые при нагружении балок натягиваются и создают разгружающие моменты. Это уменьшает расход бетона и позволяет армировать балки стержневой арматурой классов А500С или А400 без предварительного напряжения, что снижает трудоемкость изготовления и стоимость балок.

В работах приводится экспериментальное исследование сборно-монолитного покрытия и расчет его элементов с учетом физической нелинейности деформирования бетона и арматуры.

В работе [26] представлено сборно-монолитное покрытие одноэтажного производственного здания при пролетах 18, 24, 30 м и увеличенном шаге поперечных осей. Предложена конструктивная схема покрытия одноэтажного промышленного здания с монолитной плитой толщиной 25 или 35 мм. Плита опирается на часто расположенные стропильные балки небольшой высоты и включается в их работу в качестве верхней полки. Строительная высота покрытия оказывается небольшой, число элементов, изготавливаемых на заводе, сокращается, уменьшаются транспортные расходы. Устройство несъемной опалубки отличается простотой, а заданная толщина плиты обеспечивается при бетонировании направляющими в виде металлических поперечных ребер, расположенных с шагом, не более 1.5 м. Подстропильные балки также имеют небольшую высоту: они опираются на спаренные колонны и с помощью короткой вспомогательной балки

соединяются с ними жестко, что уменьшает возникающие моменты и прогибы. Отсутствие предварительного напряжения арматуры уменьшает трудоемкость изготовления элементов, отсутствие ребристых плит уменьшает число монтажных единиц и резко сокращает объем сварочных работ на монтаже. Увеличение шага поперечных осей здания позволяет более эффективно использовать площадь цеха при расстановке технологического оборудования.

Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов приводятся в работе [27].

Нелинейные диаграммы деформирования бетона и арматуры, рекомендованные СП, применяются в работах [28, 29], а в работе [30] с учетом неупругих деформаций бетона растянутой зоны определяется момент образования трещин при изгибе.

В работе [31] приводится покрытие здания с помощью балок-плит шириной 1.5 м коробчатого поперечного сечения ступенчато переменной высоты, ограниченной квадратной параболой, выполняющих одновременно несущую и ограждающую функции. Балки-плиты устанавливаются на подстропильные конструкции вразрядку с промежутками 1.5 м, которые заполняются затем вставками монолитной плиты, превращающими покрытие в единую ребристую плиту.

В приведенных решениях, как и в типовом, опирание стропильных конструкций на колонны принимается шарнирным, при котором в середине пролета возникает большой изгибающий момент, требующий высокой несущей способности железобетонного ригеля.

Мы предлагаем жесткое соединение конструкций покрытия, вызывающее перераспределение изгибающих моментов с железобетонного ригеля на колонны.

Рассматривается совместная работа стропильной конструкции и надкрановых частей колонн. Шаг таких ригелей 3 м, по ним устраивается сплошной настил из досок толщиной 30 мм, длиной 6 м, соединенных в четверть, поддерживающий ограждающую конструкцию покрытия. Выполняется расчет по второй группе предельных состояний на действие нагрузки от снега и собственного веса покрытия $q = 0.0209 \frac{MN}{m}$. Учитываются неупругие деформации, возникающие в бетоне и арматуре [25].

Используются следующие предпосылки:

- гипотеза плоских сечений: поперечные сечения балки при ее деформировании остаются плоскими;
- бетон сжатой зоны деформируется нелинейно в соответствии с рекомендованной нормами трехлинейной диаграммой;
- арматура растянутой зоны класса А500С деформируется в соответствии с рекомендованной нормами двухлинейной диаграммой;
- работа бетона растянутой зоны учитывается косвенно с помощью коэффициента Ψ_s , повышающего модуль упругости арматуры E_s до величины E_s/Ψ_s :

$$\Psi_s = 1 - 0.8 M_{cr} / M,$$

где M_{cr} – момент образования трещин; M - момент от внешней нагрузки.

Момент образования трещин определяется с учетом неупругих деформаций бетона растянутой зоны на основе следующих предпосылок:

- гипотеза плоских сечений;
- в сжатой зоне бетон работает упруго при начальном модуле упругости E_b ;
- в растянутой зоне напряжения в бетоне возрастают упруго до величины расчетного сопротивления бетона растяжению для предельных состояний второй группы $R_{bt,ser}$, при дальнейшем деформировании остаются постоянными;
- деформация наиболее напряженного волокна растянутой зоны достигает предельного значения для кратковременной нагрузки $\epsilon_{bt,u} = 0.00015$;
- арматура деформируется упруго.

При моменте, равном M_{crc} , поперечное сечение балки разделяется на упругую и пластическую зоны с деформацией $\epsilon_{b1} = R_{bt,ser}/E_b$ по границе между ними (рисунок 1).

Скорость изменения деформаций по высоте пластической зоны y и всего сечения можно найти по формуле $u = \frac{\epsilon_{bt,u} - \epsilon_{b1}}{y}$, после чего нетрудно найти деформации и напряжения в любой точке сечения и величину момента M_{crc} .

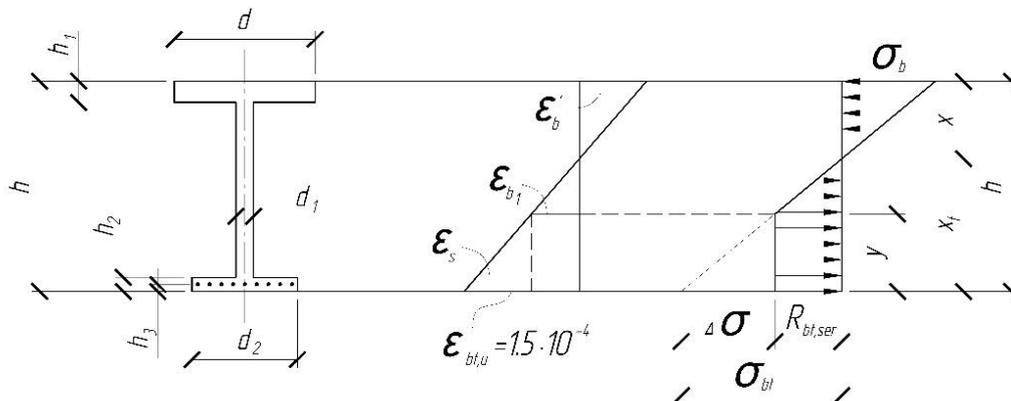


Рисунок 1 – Деформации и напряжения в поперечном сечении в момент образования трещин.

Будем определять жесткость балки по деформации ϵ_b наиболее напряженного волокна бетона сжатой зоны. Требуется определить соответствующие этой деформации высоту сжатой зоны x и изгибающий момент – сумму моментов относительно нейтральной линии напряжений в бетоне сжатой зоны и усилий в арматуре растянутой и сжатой зон. Задача усложняется тем, что сжатая зона имеет тавровое сечение. Предлагается следующая методика:

- строится эпюра деформаций в пределах высоты сжатой зоны x
 - строится эпюра напряжений в соответствии с эпюрой деформаций и принятой диаграммой деформирования бетона;
 - равнодействующая напряжений в бетоне сжатой зоны N_b вычисляется по частям $N_{b,i}$, которые выделяются с учетом тавровой формы сечения так, чтобы для каждой из них было нетрудно определить расстояние z_i до нейтральной линии поперечного сечения балки.
- На рисунке 2 приводится пример для случая, когда $\epsilon_{b0} < \epsilon_b < \epsilon_{b2}$, где $\epsilon_{b0} = 0,002$, $\epsilon_{b2} = 0,0035$ – параметры диаграммы деформирования бетона.

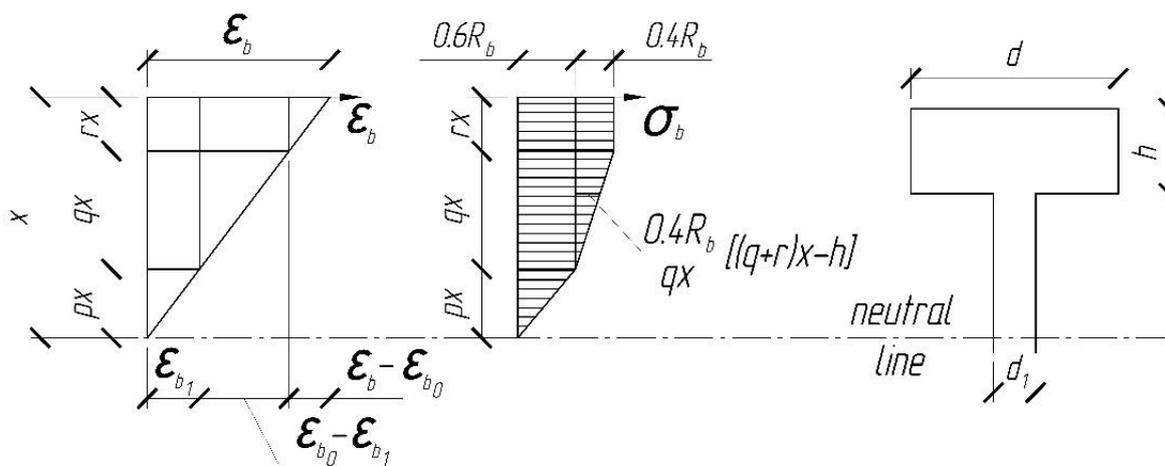


Рисунок 2 – Распределение деформаций и напряжений в пределах высоты сжатой зоны, когда $\epsilon_{b0} < \epsilon_b < \epsilon_{b2}$.

$$\begin{aligned}
 N_{b.1} &= R_b r x d; \quad z_1 = x - \frac{r x}{2}. \\
 N_{b.2} &= 0.6 R_b q x d; \quad z_2 = p x + \frac{q x}{2}. \\
 N_{b.3} &= -0.6 R_b [(q+r)x-h](d-d_1); \quad z_3 = p x + 0.5 [(q+r)x-h]. \\
 N_{b.4} &= \frac{1}{2} 0.4 R_b q x d; \quad z_4 = p x + \frac{2}{3} q x. \\
 N_{b.5} &= -\frac{0.2 R_b}{q x} [(q+r)x-h]^2 (d-d_1); \quad z_5 = p x + \frac{2}{3} [(q+r)x-h]. \\
 N_{b.6} &= \frac{1}{2} 0.6 R_b p x d_1; \quad z_6 = \frac{2}{3} p x.
 \end{aligned}$$

Усилия в арматуре записываются в виде:

- для растянутой зоны:

$$N_s = E_s A_s \epsilon_s = \frac{E_s A_s}{\psi_s} \epsilon_b \frac{h_0 - x}{x},$$

- для сжатой зоны:

$$N'_s = E_s A'_s \epsilon'_s = E_s A'_s \epsilon_b \frac{x - a'}{x}.$$

Составляется уравнение равновесия

$$N_b + N'_s - N_s = 0,$$

которое оказывается уравнением вида $ax^2 + bx + c = 0$ при коэффициентах:

$$\begin{aligned}
 a &= R_b \left[rd + 0.8 qd - 0.6(q+r) - \frac{0.2}{q} (d-d_1)(q+r)^2 + 0.3 p d_1 \right], \\
 b &= R_b \left[(d-d_1) \left[0.6h + \frac{0.4(q+r)h}{q} \right] + E_s \epsilon_b \left(A'_s - \frac{A_s}{\psi_s} \right) \right], \\
 c &= -0.2 R_b h^2 \frac{d-d_1}{q} + E_s \epsilon_b \left(\frac{A_s}{\psi_s} h_0 - A'_s a' \right).
 \end{aligned}$$

Из решения уравнения определяется высота сжатой зоны x , после чего определяется изгибающий момент M , кривизна изогнутой оси балки $k = \epsilon_b/x$ и жесткость балки $g = M/k$

Расчет балки начинается с того, что последовательно задаются деформации крайнего волокна сжатой зоны от $\epsilon_b = 0,00001$ до $\epsilon_b = 0,00350$ с шагом $0,00001$ и вычисляются и заносятся в таблицу соответствующие этим деформациям значения изгибающего момента, деформации ϵ_b , кривизны изогнутой оси и жесткости балки.

Далее применяется метод упругих решений в сочетании с известным методом конечных разностей. В каждом упругом решении балка разделяется по длине на малые части, по границам которых наносятся точки $j=1,2,3,\dots,n$. Прогибы балки в этих точках принимаются за основные неизвестные; они определяются из решения системы уравнений равновесия малых частей, выделенных в окрестности каждой точки j . По прогибам определяются кривизны изогнутой оси балки, а по ним – строчки в таблице, откуда берутся жесткости для следующего упругого решения, причем индивидуально для каждой точки $j=1,2,3,\dots,n$. Решение показывает устойчивую сходимость.

Результаты исследования и их анализ

На рисунках 3 - 5 приводятся результаты расчетов. Для ригелей это эпюры изгибающих моментов, вертикальных перемещений, жесткостей, высоты сжатой зоны в поперечном сечении, деформации наиболее напряженного волокна сжатой зоны. Для надкрановых частей колонн приводится эпюра перемещений; жесткости их, а, следовательно, и изгибающие моменты при шарнирном соединении с колонной изменяться не будут: $M = -1.45 \text{ MNm}$, $G = 321 \text{ MNm}^2$. На рисунке 6 – поперечные сечения элементов.

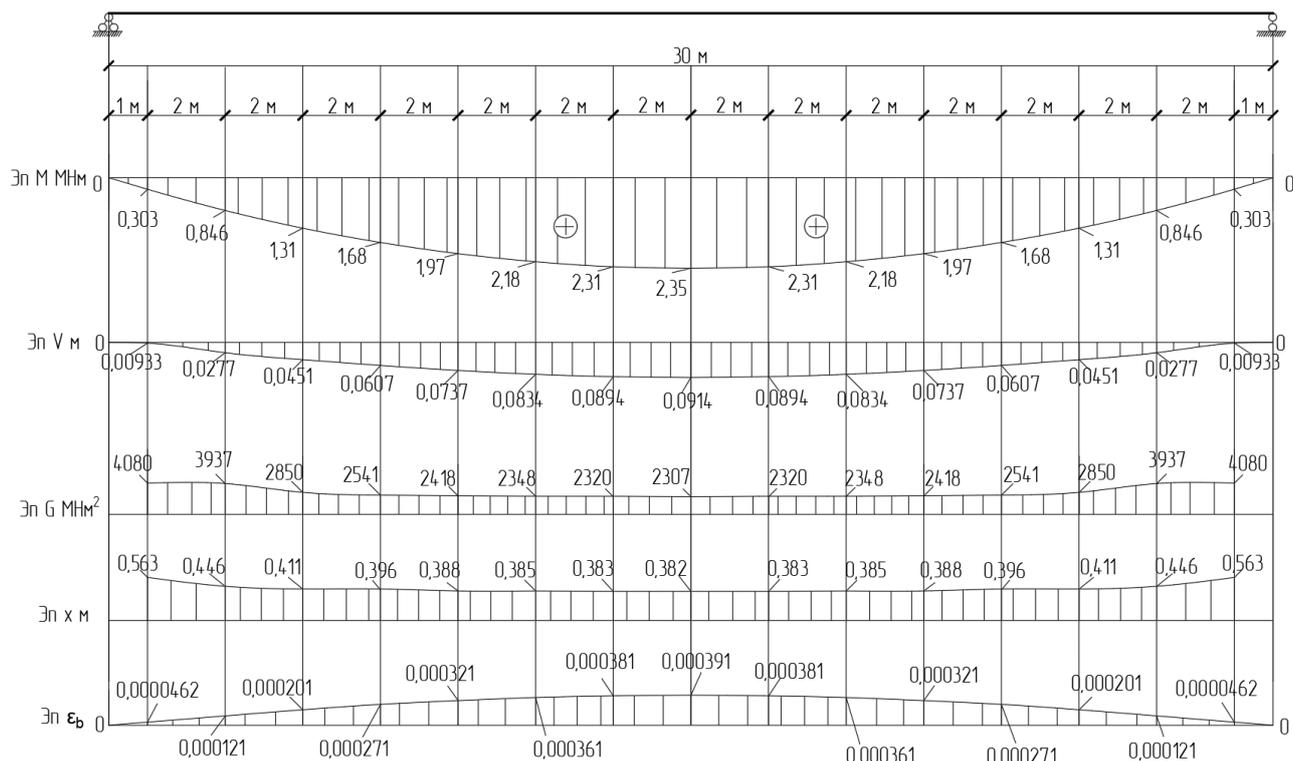


Рисунок 3 – Стропильная конструкция на пролет 30 м при шарнирном опирании на колонны.

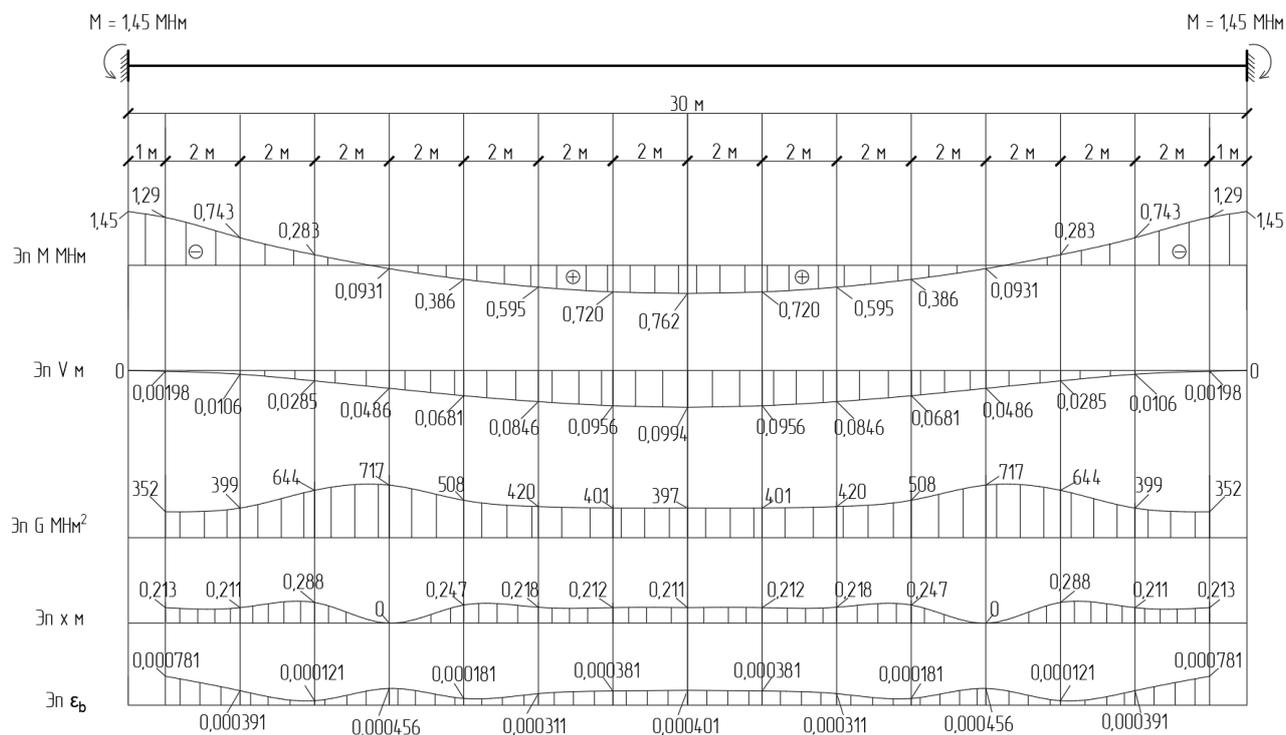


Рисунок 4 – Стропильная конструкция на пролет 30 м при жестком соединении с колоннами с моментами от колонн - 1.45 МНм.

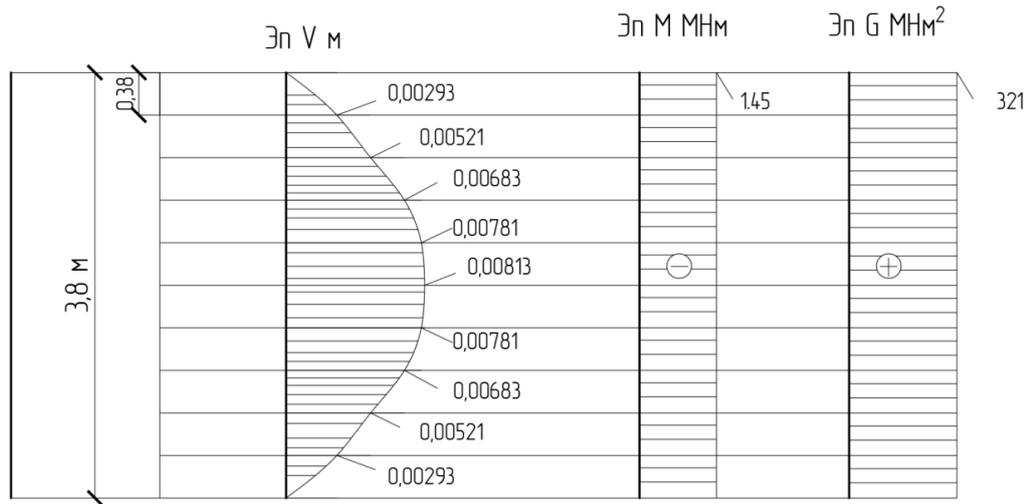


Рисунок 5 – Надкрановая часть колонны под действием момента от железобетонного ригеля 1.45 МНм и продольной сжимающей силы.

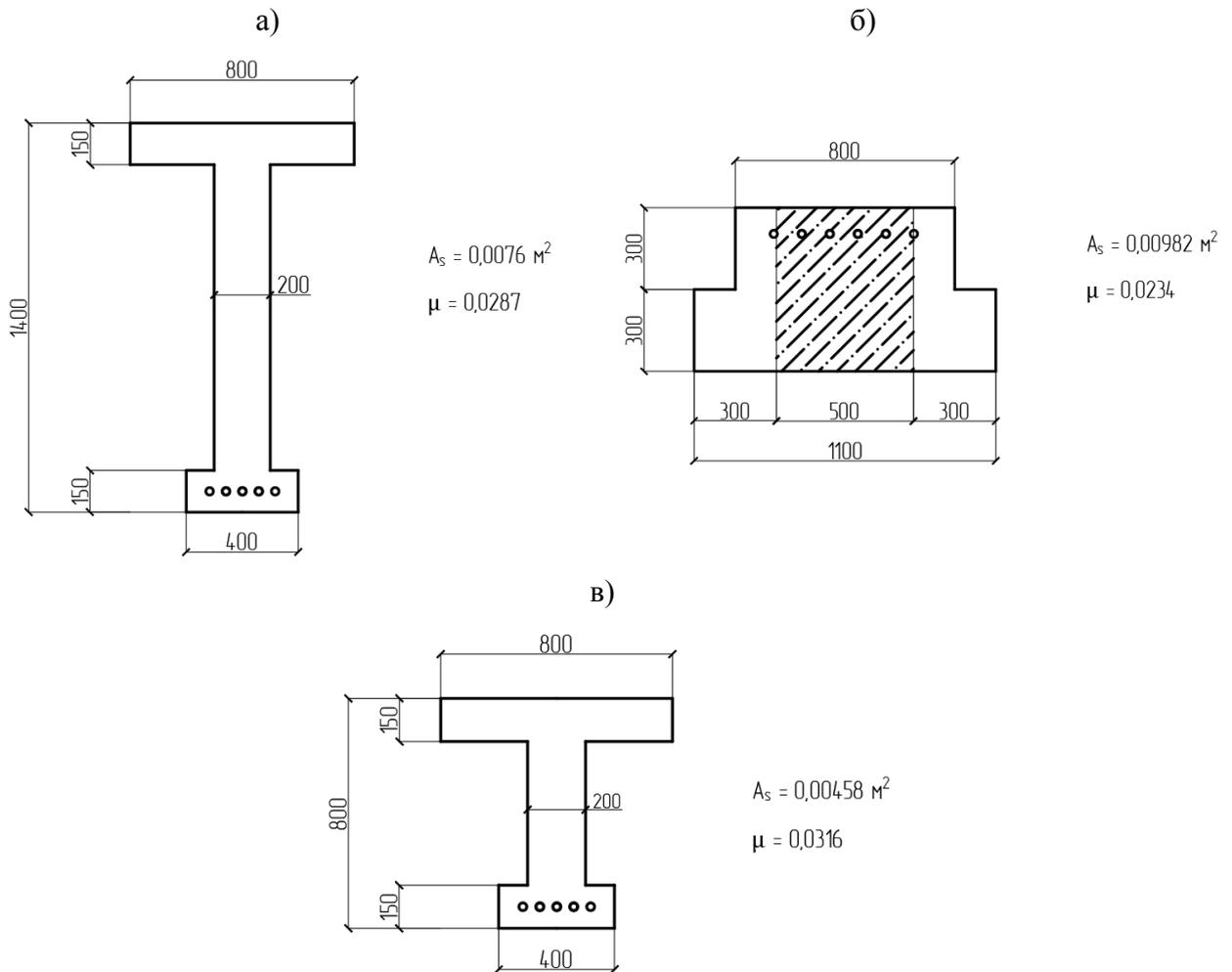


Рисунок 6 – Поперечные сечения элементов:
а – железобетонного ригеля при шарнирном опирании на колонны, б – надкрановой части колонны,
в – железобетонного ригеля при жестком соединении с колоннами.

Выводы

Выполненные расчеты показывают существенное перераспределение изгибающих моментов с железобетонного ригеля на колонны, в результате которого при пролете здания 30 м высота стропильной конструкции уменьшилась от 1.4 до 0.8 м и масса соответственно от 28.8 до 20.16 т. Надкрановые части колонн получили некоторое увеличение поперечных сечений, но в целом масса поперечной рамы уменьшилась на 3.7 т, а высота покрытия и здания в целом уменьшилась на 0.6 м.

Благодарности

Исследования проводились с использованием оборудования межрегионального многопрофильного и междисциплинарного центра коллективного пользования перспективных и конкурентоспособных технологий по направлениям развития и применения в промышленности/машиностроении отечественных достижений в области нанотехнологий (соглашение №075-15-2021-692 от 5 августа 2021 года).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровская Ю.А., Родевич В.В. Анализ несущей способности железобетонного ригеля с учетом сквозных технологических отверстий // Научно-технический потенциал как основа социально-экономического развития. Москва, 2018. С. 397-402.
2. Зайцев Д.С., Соловьев Н.П. Идея скрытого ригеля в сборно-монолитном железобетонном каркасе // Россия в многовекторном мире: национальная безопасность, вызовы и ответы. Йошкар-Ола. 2017. С. 274-275.
3. Тарасеева Н.И., Грачёва Ю.В., Крылов А.С. Дефекты и повреждения опор и ригеля железобетонного моста: причины возникновения, способы устранения // Моделирование и механика конструкций. №13. 2021. С. 169-177.
4. Комаров В.А. Расчет наклонных сечений в подрезках консольных опор ригелей сборных многоэтажных железобетонных каркасов // Строительная механика и расчет сооружений. №2 (259). 2015. С. 6-11.
5. Конорев А.В. Методика экспериментального определения характера деформирования составного ригеля железобетонной рамы с учетом податливости шва контакта // Строительство-2016. Брянск, 2016. С. 262-265.
6. Бабич Е.М., Гайчук И.В. Исследование влияния регулирования усилий в железобетонных рамах на деформации ригеля // Вестник брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. №1 (91). 2015. С. 54-57.
7. Колчунов В.И., Бушова О.Б., Кореньков П.А. Деформирование и разрушение железобетонных рам с ригелями, армированными наклонными стержнями, при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2022. №1 (99). С. 18-28.
8. Макаров К.С. Огибающая эпюра моментов в трехпролетном неразрезном железобетонном ригеле // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования. Астрахань, 2021. С. 167-170.
9. Boronbaev, Erkin, Unaspekov, Berikbayb; Abdylbaeva, Aigul, Holmatov, Kamoliddina Zhyrgalbaeva, Nurbubu. Buildings Enclosures Coupling by Its Energy Efficiency, Seismic Resistance and Microclimate // 24th International Scientific Conference on Construction: The Formation of Living Environment, FORM 2021. Moscow. No. 170. Pp. 495 – 503. doi:10.1007/978-3-030-79983-0_45.
10. Plotnikov A., Ivanov M. Changes in the stiffness of load-bearing elements of a high-rise building and inclinometer data based on finite element analysis // 24th International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment. FORM 2021. Moscow. Vol. 26328. doi: 10.1051/e3sconf/202126302023.
11. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Reinforced concrete structures stress-strain state strengthen with composite materials // 23rd International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2020. Vol. 869. No. 59. July 2020. doi: 10.1088/1757-899X/869/5/052003.
12. Zavyalova O. Calculation of internal efforts in combined multystoried frames taking into account changing settlement scheme // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety 2018, ICCATS 2018. Vol. 451. No. 1. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012057.
13. Jasinska D., Dulinska J. Influence of properties of elastomeric bearings on dynamic behavior of an integral bridge under a seismic shock // 6th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, SEMC 2016. Pp. 314 – 319. doi:10.1201/9781315641645-52.

14. Mkrtychev O., Busalova M. Calculation of Reinforced Concrete Structures with a Set Seismic Stability Level on an Earthquake // 5th Polish - Russian - Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering, 2016. No. 153, Pp. 475 – 482. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.161.
15. Nazarenko S., Grudcina G. Method of the finite-element model formation containing the 3D elements for structural calculations of the reinforced concrete structures considering the crack opening // Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. 2021. Vol. 23. No. 1. Pp.D15 - D25. doi:10.26552/COM.C.2021.1.D15-D25.
16. Sivakumar S., Suresh T., Guru C. Flexural behavior of self compacted perforated concrete beams // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. No. 11. Pp. 1185 – 1191.
17. Santos I., Nunes F. Viaduct Araranguá – The alternative design of viaduct of 1661.59 meters in the BR-101/SC Brazil // International Conference on Multi-Span Large Bridges, 2015. Pp. 325 – 330. doi:10.1201/b18567-40.
18. Rakhmanova A., Platov V., Rybak I. Trash racks with stationary reinforced-concrete crossbar // Hydrotechnical Construction. 1989. Vol. 23. No. 2. Pp. 110 – 114. doi:10.1007/BF01427937.
19. Рощина С.И., Шишов И.И., Капцова Е.Н., Эззи Х.. Покрытие здания на сборно-монолитных стропильных конструкциях // Бетон и железобетон. 2013. № 3. С. 30 – 31.
20. Шишов И.И., Дрогина А.О., Ковалишина Т.В. Покрытие производственного здания на спаренных колоннах // Бетон и железобетон. 2013. № 5. С. 14 – 15.
21. Шишов И.И., Рощина С.И., Эззи Х., Рязанов М.А. Стропильные конструкции из линейных и плоских элементов и их совместная работа с плитами покрытий // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. труды III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. РАН, Мин-во строит. и жилищ. коммунал. хоз. РФ, РИА, Мин-во образ. и науки РФ, МГСУ, НИЦ "Строительство", Ассоциация "Железобетон". (Москва, 12 – 16 мая 2014 г.). Москва: Изд-во МГСУ, 2014. Т.1. С. 407 - 414.
22. Шишов И.И., Рощина С.И., Рязанов М.А., Эззи Х.. Рамные стропильные конструкции и плиты покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 метров // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всерос. (II Междунар.) конф. НАСКР-2014. ЧГУ. (Чебоксары, 20 – 21 ноября 2014 г.). Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2014. С. 251 - 256.
23. Рязанов М.А., Рощина С.И., Шишов И.И., Лукин М.В., Лисятников М.С. Внешнее армирование консольно-балочной подстропильной системы // БСТ – Бюллетень строительной техники. 2018. №2. С. 62 – 64.
24. Рязанов М.А., Шишов И.И., Рощина С.И., Смирнов Е.А., Сергеев М.С. Экспериментальные исследования работы сборно-монолитного покрытия производственного здания // БСТ – Бюллетень строительной техники. 2016. №12. С. 57 – 61.
25. Рязанов М.А., Шишов И.И., Рощина С.И., Лукин М.В. Расчет изгибаемых элементов с учетом физической нелинейности деформирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 58 – 64.
26. Рощина С.И., Шишов И.И., Рязанов М.А., Козлова Н.П., Малафеева П.И. Пат. 186152 RU, МПК E04B 7/00. Сборно-монолитное покрытие одноэтажного производственного здания при пролетах 18, 24, 30 м и увеличенном шаге поперечных осей // патентообладатель ВлГУ. № 2018134014, заявл. 26.09.2018, опубл. 11.01.2019. Бюл № 2.
27. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 56-59.
28. Шматков С.Б., Штурмин В.В. Расчет железобетонных дымовых труб на основе диафрагм деформирования бетона и арматуры. Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2015. Т. 15. № 4. С. 36-39.
29. Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Расчет прочности изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения на основе применения нелинейных диаграмм деформирования бетона и арматуры // Актуальные вопросы науки и техники: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Вып. 2. Самара. ИЦРОН. 2015. С. 122-124.
30. Радайкин О.В. К определению момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов с учетом пластических деформаций бетона растянутой зоны. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 3. С. 30-38.
31. Lisyatnikov, M.S., Shishov, I.I., Sergeev, M.S., Hisham, E. Covering of a single-storey industrial building with wide beams of box-shaped cross-section of stepwise variable height. Precast monolithic coating of an industrial building based on variable-height beam-slabs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, No. 896 (1). 2020. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012064.

REFERENCES

1. Bobrovskaya Y.A., Rodevich V.V. Analysis of the bearing capacity of a reinforced concrete crossbar taking into account through technological holes // Scientific and technical potential as the basis of socio-economic development. Moscow, 2018. Pp. 397-402.

2. Zaitsev D.S., Solovyov N.P. The idea of a hidden bolt in a prefabricated monolithic reinforced concrete frame // Russia in a multi-vector world: national security, challenges and answers. Yoshkar-Ola, 2017. Pp. 274-275.
3. Taraseeva N.I., Gracheva Yu.V., Krylov A.S. Defects and damages of supports and crossbars of reinforced concrete bridge: causes, methods of elimination // Modeling and mechanics of structures. No.13. 2021. Pp.169-177.
4. Komarov V.A. Calculation of inclined sections in the trimming of cantilever supports of crossbars of prefabricated multi-storey reinforced concrete frames // Construction mechanics and calculation of structures. No.2(259). 2015. Pp. 6-11.
5. Konorev A.V. Method of experimental determination of the nature of deformation of a composite crossbar of a reinforced concrete frame, taking into account the malleability of the contact seam // Construction-2016. Bryansk, 2016. Pp. 262-265.
6. Babich E.M., Gaichuk I.V. Investigation of the influence of force regulation in reinforced concrete frames on crossbar deformations // Bulletin of the Brest State Technical University. Construction and architecture. No. 1 (91). 2015. Pp. 54-57.
7. Kolchunov V.I., Bushova O.B., Korenkov P.A. Deformation and destruction of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with inclined rods, under special influences // Construction and reconstruction. 2022. No.1 (99) Pp. 18-28.
8. Makarov K.S. The envelope plot of moments in a three-span continuous reinforced concrete crossbar // Innovative development of regions: the potential of science and modern education. Astrakhan, 2021. Pp. 167-170.
9. Boronbaev, Erkin, Unaspekov, Berikbayb; Abdyldaeva, Aigul, Holmatov, Kamoliddina; Zhyrgalbaeva, Nurbubu. Buildings Enclosures Coupling by Its Energy Efficiency, Seismic Resistance and Microclimate // 24th International Scientific Conference on Construction: The Formation of Living Environment, FORM 2021. Moscow. No. 170. Pp. 495 – 503. doi:10.1007/978-3-030-79983-0_45.
10. Plotnikov A., Ivanov M. Changes in the stiffness of load-bearing elements of a high-rise building and inclinometer data based on finite element analysis // 24th International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment. FORM 2021. Moscow. Vol. 26328. doi: 10.1051/e3sconf/202126302023.
11. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Reinforced concrete structures stress-strain state strengthen with composite materials // 23rd International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2020. Vol. 869. No. 59. July 2020. doi:10.1088/1757-899X/869/5/052003.
12. Zavyalova O. Calculation of internal efforts in combined multystoried frames taking into account changing settlement scheme // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety 2018, ICCATS 2018. Vol. 451. No. 1. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012057.
13. Jasinska D., Dulinska J. Influence of properties of elastomeric bearings on dynamic behavior of an integral bridge under a seismic shock // 6th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, SEMC 2016. Pp. 314 – 319. doi: 10.1201/9781315641645-52.
14. Mkrtichev O., Busalova M. Calculation of Reinforced Concrete Structures with a Set Seismic Stability Level on an Earthquake // 5th Polish - Russian - Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering, 2016. No. 153, Pp. 475 – 482. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.161.
15. Nazarenko S., Grudcina G. Method of the finite-element model formation containing the 3D elements for structural calculations of the reinforced concrete structures considering the crack opening // Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. 2021. Vol. 23. No. 1. Pp.D15 - D25. doi:10.26552/COM.C.2021.1.D15-D25.
16. Sivakumar S., Suresh T., Guru C. Flexural behavior of self compacted perforated concrete beams // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. No. 11. Pp. 1185 – 1191.
17. Santos I., Nunes F. Viaduct Araranguá – The alternative design of viaduct of 1661.59 meters in the BR-101/SC Brazil // International Conference on Multi-Span Large Bridges, 2015. Pp. 325 – 330. doi:10.1201/b18567-40.
18. Rakhmanova A., Platov V., Rybak I. Trash racks with stationary reinforced-concrete crossbar // Hydrotechnical Construction . 1989. Vol. 23, No. 2. Pp. 110 – 114. doi:10.1007/BF01427937.
19. Roshchina S.I., Shishov I.I., Kaptsova E.N., Ezzi H.. Covering of a building on prefabricated monolithic truss structures // Concrete and reinforced concrete. 2013. No. 3. Pp. 30 – 31.
20. Shishov I.I., Drogina A.O., Kovalishina T.V. Covering of an industrial building on paired columns // Concrete and reinforced concrete. 2013. No. 5. Pp. 14-15.
21. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ezzi H., Ryazanov M.A. Rafter structures made of linear and flat elements and their joint work with coating plates // Concrete and reinforced concrete – a look into the future: scientific works of III Vsros. (II International) conf. on concrete and reinforced concrete. RAN, Min-o builds. and dwellings. communal. household. RF, RIA, Min-o image. and sciences of the Russian Federation, MGSU, SIC "Construction", Association "Reinforced Concrete". (Moscow, May 12-16, 2014). Moscow: MGSU Publishing House, 2014. Vol.1. Pp. 407-414.
22. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ryazanov M.A., Ezzi H.. Frame truss structures and covering plates of an industrial building with a step of transverse frames of 15 meters // New in architecture, design of building structures and reconstruction: materials VIII Vsros. (II International) conf. NASKR-2014. ChSU. (Cheboksary, November 20 – 21, 2014). Cheboksary: Chuvash Publishing House. Un-ta, 2014. Pp. 251 - 256.

23. Ryazanov M.A., Roshchina S.I., Shishov I.I., Lukin M.V., Lisyatnikov M.S. External reinforcement of the cantilever-beam sub-truss system // BST – Bulletin of construction equipment. 2018. No. 2. Pp. 62-64.
24. Ryazanov M.A., Shishov I.I., Roshchina S.I., Smirnov E.A., Sergeev M.S. Experimental studies of the work of a prefabricated monolithic coating of an industrial building // BST – Bulletin of construction equipment. 2016. No.12. Pp. 57 – 61.
25. Ryazanov M.A., Shishov I.I., Roshchina S.I., Lukin M.V. Calculation of bending elements taking into account the physical nonlinearity of deformation // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 12. pp. 58-64.
26. Roshchina S.I., Shishov I.I., Ryazanov M.A., Kozlova N.P., Malafeeva P.I. Pat. 186152 RU, IPC E04B 7/00. Prefabricated monolithic coating of a single-storey industrial building with spans of 18, 24, 30 m and an increased step of the transverse axes. / patent holder of the VISU. No. 2018134014, application 26.09.2018, publ. 11.01.2019. Byul No. 2.
27. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Experimental studies of deformability of bent reinforced concrete elements of various cross-sections // Bulletin of V.G. Shukhov BSTU. 2017. No. 4. Pp. 56-59.
28. Shmatkov S.B., Shturmin V.V. Calculation of reinforced concrete chimneys based on concrete and reinforcement deformation diaphragms. Bulletin of SUSU. The series "Construction and Architecture". 2015. Vol. 15. No. 4. Pp. 36-39.
29. Obernikhin D.V., Nikulina Y.A. Calculation of the strength of bent reinforced concrete elements of trapezoidal cross-section based on the use of nonlinear diagrams of concrete and reinforcement deformation // Actual issues of science and technology: Collection of scientific papers on the results of the international scientific and practical conference. Vol. 2. Samara. ICRON. 2015. Pp. 122-124.
30. Radaykin O.V. On determining the moment of cracking of bent reinforced concrete elements taking into account plastic deformations of the stretched zone concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 3. Pp. 30-38.
31. Lisyatnikov M.S., Shishov, I.I., Sergeev, M.S., Hisham, E. Covering of a single-storey industrial building with wide beams of box-shaped cross-section of stepwise variable height. Precast monolithic coating of an industrial building based on variable-height beam-slabs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, No. 896 (1). 2020. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012064.

Информация об авторах:

Шишов Иван Иванович

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: shishov@shishov777.elcom.ru

Сергеев Михаил Сергеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: sergeevmichael@inbox.ru

Лисятников Михаил Сергеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Лукин Михаил Владимирович

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: mikail_lukin_22@mail.ru

Рощина Светлана Ивановна

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций.
E-mail: rsi3@mail.ru

Information about authors:

Shishov Ivan Iv.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.
E-mail: shishov@shishov777.elcom.ru

Sergeev Mikhail S.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.
E-mail: sergeevmichael@inbox.ru

Lisyatnikov Mikhail S.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.
E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Lukin Mikhail V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.
E-mail: mikail_lukin_22@mail.ru

Roschina Svetlana Iv.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, doctor of technical sciences, professor, head of the department of building structures.
E-mail: rsi3@mail.ru