

УДК 624.078.416

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ УЗЛОВ
СОПРЯЖЕНИЯ КОЛОНН И БАЛОК МОНОЛИТНЫХ КАРКАСОВ
ЗДАНИЙ**

Артюшин Дмитрий Викторович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент, декан Инженерно-строительного
института.*

Коновалов Павел Владимирович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

аспирант кафедры «Строительные конструкции».

Аннотация

Рассмотрены основные причины повреждений и разрушений основных несущих конструкций монолитных каркасов зданий. Выполнен анализ напряженного состояния монолитных узлов сопряжения колонн крайнего ряда с балками. Предложены наиболее оптимальные принципы армирования исследуемых узлов.

Ключевые слова: монолитные каркасы зданий, узлы сопряжения колонн с балками, напряженное состояние, расчетная модель, армирование.

**OPTIMIZATION OF DESIGN SOLUTIONS OF INTERFACE OF COLUMNS
AND BEAMS OF MONOLITHIC FRAMES OF BUILDINGS**

Artyushin Dmitriy Viktorovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor, Dean of the Civil Engineering Institute.

Konovalov Pavel Vladimirovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

postgraduate student of the department of «Building Structures».

Abstract

The main causes of damage and destruction of the main load-bearing structures of monolithic building frames are considered. The analysis of the stress state of monolithic junctions of columns of the extreme row with beams is carried out. The most optimal principles of reinforcement of the studied nodes are proposed.

Keywords: monolithic frames of buildings, knots of columns with beams, stress state, calculation model, reinforcement.

Одно из основных требований к строительству монолитных каркасов многоэтажных зданий заключается в строгом соблюдении технологии производства строительно-монтажных работ и качественном выполнении узловых сопряжений основных несущих элементов, таких как сопряжение колонн с фундаментами и колонн с ригелями перекрытия. Разрушение несущих конструкций каркасов зачастую происходит при недостаточной прочности узловой зоны сопряжения колонн и ригелей перекрытий, а также выполненном с грубыми нарушениями бетонирования строительных конструкций, рисунок 1.

а)



б)

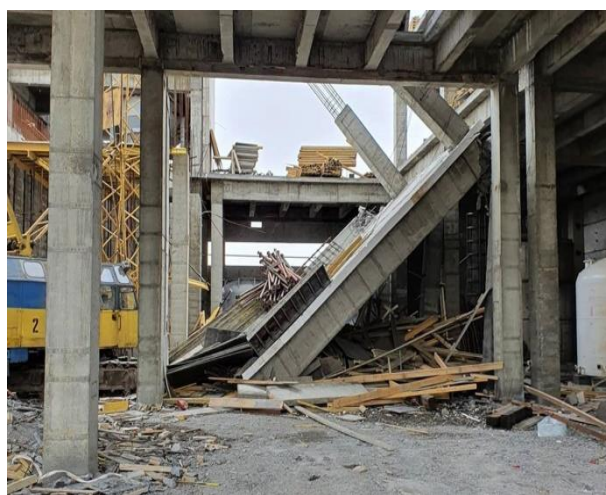


Рисунок 1 – Примеры обрушения несущих конструкций перекрытия монолитных каркасных зданий

Совокупность этих факторов явилась основной причиной обрушения перекрытия первого этажа при строительстве торгового центра в г. Пензе, что привело к значительным затратам по восстановлению поврежденных конструкций, расположенных в зоне обрушения и в примыкающих к ней участках здания [1], рисунок 2.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 2 – Разрушения и повреждения несущих конструкций перекрытия при строительстве здания торгового центра в г. Пензе
а, б – разрушение узлов сопряжений ригелей перекрытия с колоннами;
в, г - трещины в ригеле шириной раскрытия до 2,0 мм

Для восстановления работоспособности поврежденных каркасов в большинстве случаев применяют достаточно материалоемкие виды усиления (например, обоймы из прокатных уголков и натяжных стержней-шпилек),

требующие дополнительных значительных финансовых затрат по восстановлению железобетонных конструкций.

Использование более совершенных конструктивных решений узлов сопряжения монолитных колонн и балок позволит гарантировать прочность центральной части узлов и, как следствие, снизить количество повреждений и обрушений конструкций каркасных многоэтажных зданий. Для решения поставленной задачи исследовались различные варианты армирования центральной части монолитных узлов сопряжения колонн крайнего ряда с балками, рисунок 3.

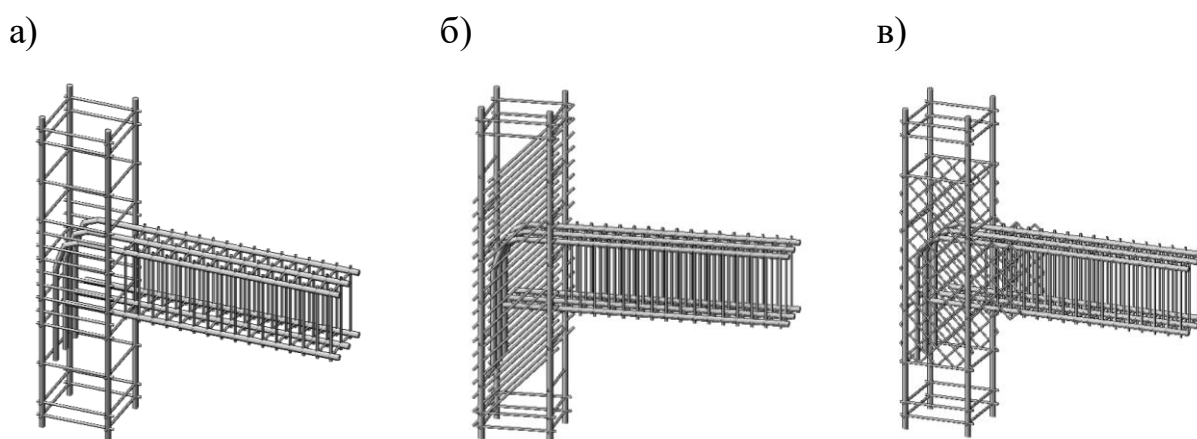


Рисунок 3 – Армирование центральной части узла

а – продольной арматурой и поперечными стержнями, перпендикулярными к оси колонны (Вариант №1); б – продольной арматурой и наклонными поперечными стержнями (Вариант №2); в – продольной арматурой и сетками (Вариант №3)

В рассматриваемой серии узлов принято сечение колонны и ригеля размером 300×300 мм из тяжелого бетона класса В25. Высота колонны 1200 мм, длина колонны – 800 мм. Рабочая арматура колонны – $4\varnothing 20$ мм класса А400, ригеля – $3\varnothing 20$ А400 [2].

Армирование центральной зоны узлов выполнено в трех вариантах:

1) продольной арматурой и поперечными стержнями, перпендикулярными к оси колонны, согласно нормативным рекомендациям [3], рисунок 3а;

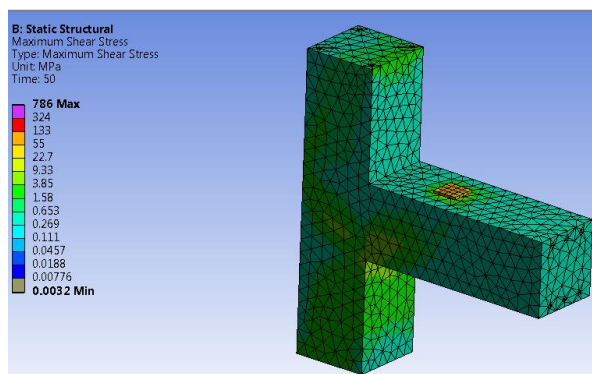
2) перпендикулярными и наклонными под углом 45° к оси колонны хомутами $\varnothing 8$ B500 с шагом 50 мм, рисунок 3б;

3) сварными арматурными сетками с наклонными под углом 45° относительно оси ригеля стержнями $\varnothing 6$ B500 с размером ячейки 50×50 мм, рисунок 3в.

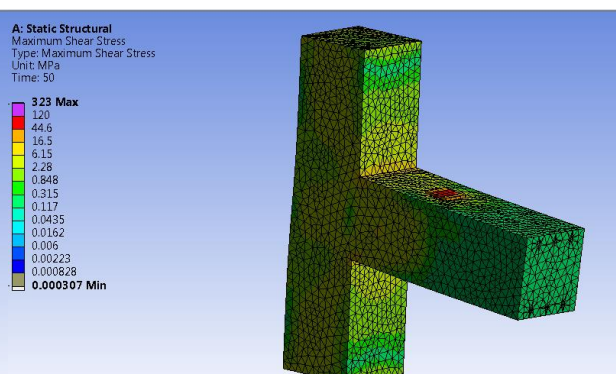
Загружение образцов осуществлялось в виде сосредоточенной нагрузки, прикладываемой к верху ригеля на расстоянии 270 мм относительно внутренней грани колонны. Нагрузка прикладывалась равными ступенями по 8 т до максимальной величины 40 т.

Использование программных комплексов «Лира» и «Ansys» позволило получить полную качественную картину распределения, а также величины внутренних усилий в каждой точке исследуемых узлов [4, 5], рисунки 4, 5.

а)



б)



в)

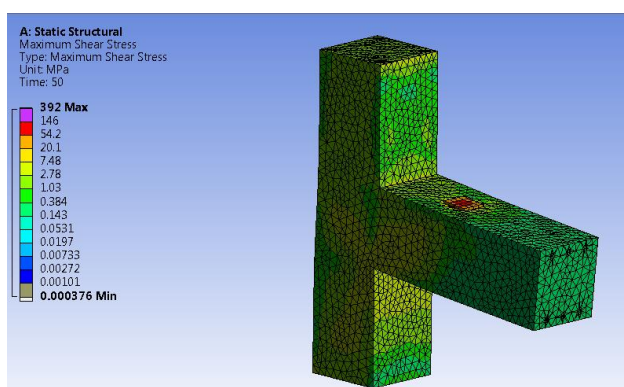


Рисунок 4 – Касательные напряжения в узле сопряжения колон и балок при расчете в ПК «Ansys» при вариантах армирования:

а – №1, б – №2, в – №3

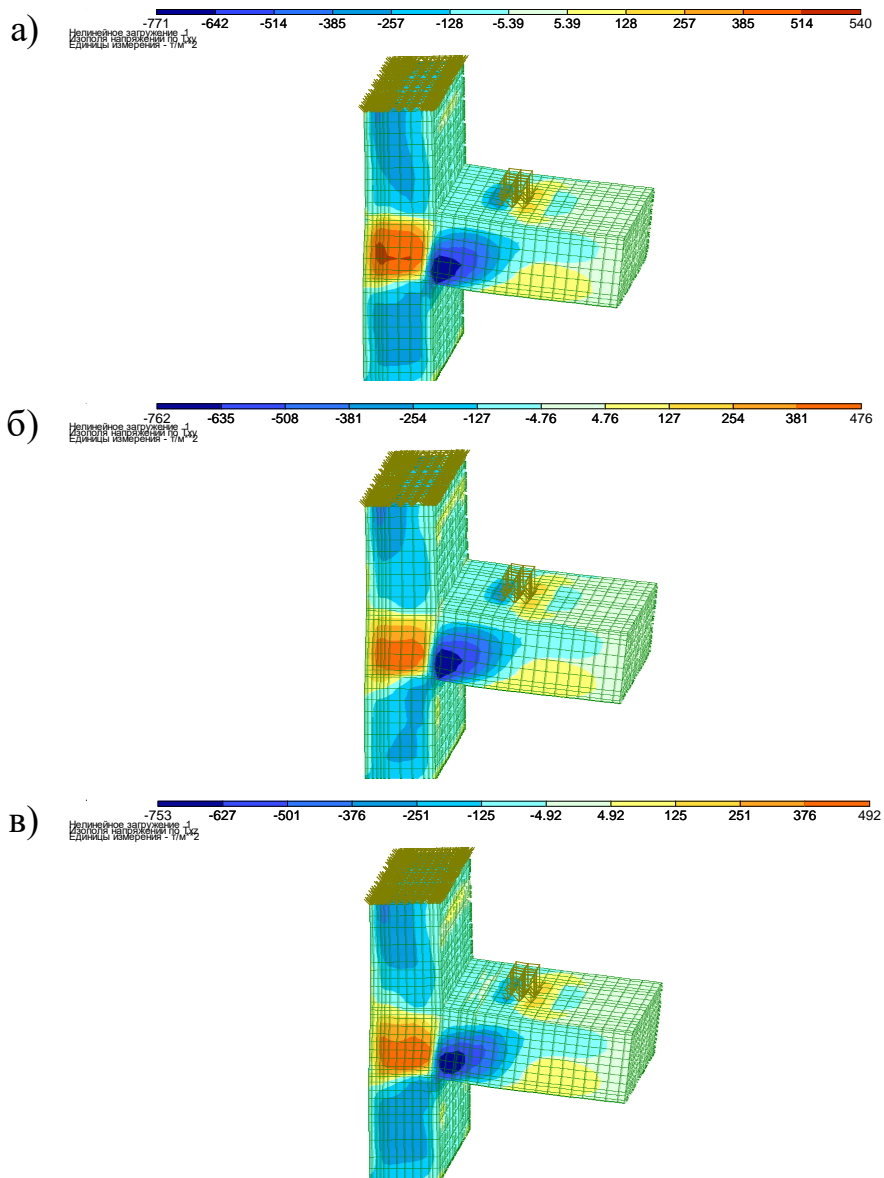


Рисунок 5 – Изополя касательных напряжений τ при расчете в ПК «Лира» при вариантах армирования: а – №1, б – №2, в – №3

Узлы сопряжения монолитных колонн и балок каркасов зданий и сооружений можно отнести к классу коротких элементов (т.е. элементов с пролетом среза $a/h_0 \leq 1$), сопротивление которых хорошо описывается аналоговыми стержневыми и каркасными моделями [6]. Аналоговая каркасно-стержневая модель (АКСМ) узловой зоны выделяет наиболее нагруженные участки (полосы бетона и арматурные пояса) и позволяет определить расчетные усилия в элементах модели. Данные участки образуют несущую систему узла,

при этом размеры участков зависят от характера армирования узловой зоны, рисунок 6.

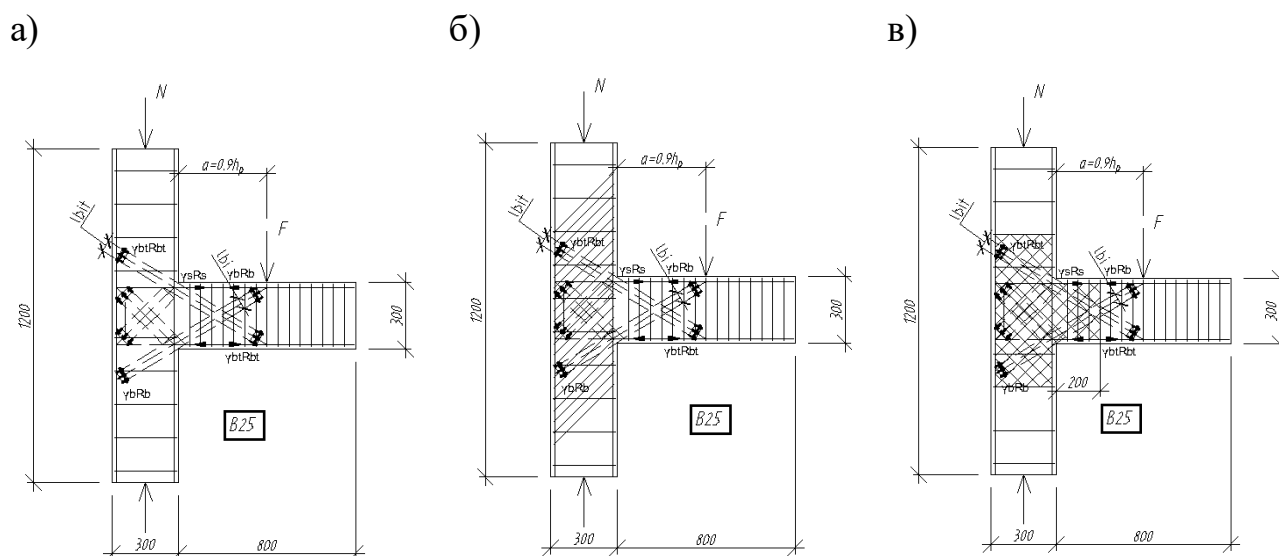


Рисунок 6 – Армирование центральной части узла с элементами каркасно-стержневой модели при вариантах армирования: а – №1, б – №2, в – №3

Условие прочности при разрушении узлов по сжатым полосам имеет вид:

$$S_i \leq \gamma_b R_b l_{bi} b_i,$$

где S_i – усилие сжатия в наклонной полосе бетона, расположенной в колонне ($S_{b,k}$) или балке ($S_{b,b}$); γ_b – коэффициент, корректирующий расчетную величину R_b в зависимости от напряженно-деформированного состояния бетона расчетного сечения и определяемый с помощью критерия прочности бетона.

Условие прочности при разрушении в результате среза сжатых полос бетона:

$$S_{it} \leq \gamma_b \gamma_\tau R_{bt} b l_\tau,$$

где S_{it} – усилие среза в наклонной полосе бетона, расположенной в колонне ($S_{\tau,k}$) или балке ($S_{\tau,b}$); γ_τ – коэффициент, корректирующий прочность бетона при сопротивлении растяжению.

Условие прочности при разрушении по растянутым арматурным поясам:

$$T_i \leq \gamma_s R_s A_s,$$

где T_i – растягивающее усилие продольной арматуры ригеля, расположенной вдоль верхней и нижней граней балки ($T_{s,v}$ и $T_{s,d}$, соответственно) или продольной арматуры колонны ($T_{s,k}$).

Результаты расчетов исследуемой серии образцов представлены в таблице 1 и на рисунке 7.

Таблица 1 - Результаты расчета монолитных узлов сопряжения колонн и ригелей в двух программных комплексах и с помощью каркасно-стержневой модели

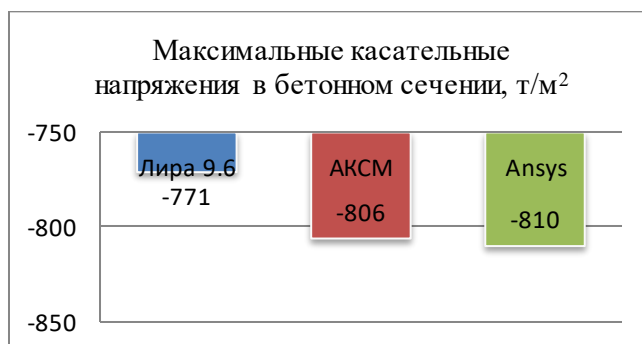
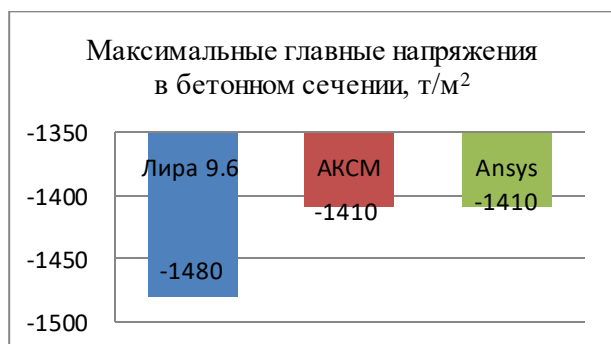
	Метод расчета	Максимальные главные напряжения в бетонном сечении, т/м ²	Максимальные касательные напряжения в бетонном сечении, т/м ²	Максимальные усилия в растянутой арматуре, т
Вариант армирования №1	ПК «Лира»	$-1,48 \times 10^3$	-771	12,3
	<u>АКСМ</u>	<u>$-1,41 \times 10^3$</u>	<u>-806</u>	<u>12,57</u>
	ПК «Ansys»	$-1,41 \times 10^3$	-810	12,77
Вариант армирования №2	ПК «Лира»	$-1,48 \times 10^3$	-762	12,6
	<u>АКСМ</u>	<u>$-1,406 \times 10^3$</u>	<u>-785</u>	<u>12,5</u>
	ПК «Ansys»	$-1,38 \times 10^3$	-798	12,45
Вариант армирования №3	ПК «Лира»	$-1,48 \times 10^3$	-753	11,8
	<u>АКСМ</u>	<u>$-1,41 \times 10^3$</u>	<u>-764</u>	<u>11,7</u>
	ПК «Ansys»	$-1,39 \times 10^3$	-780	11,37

Метод расчета на основе аналоговой каркасно-стержневой модели позволяет с высокой точностью получить предельные разрушающие усилия в элементах узлового сопряжения колонн и балок перекрытия, расхождение в результатах расчета по сравнению с программными комплексами не превышает 5%.

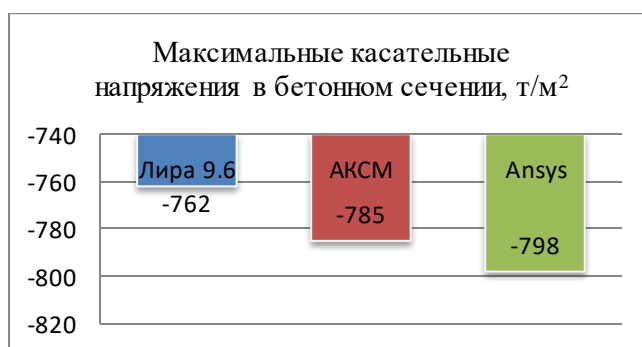
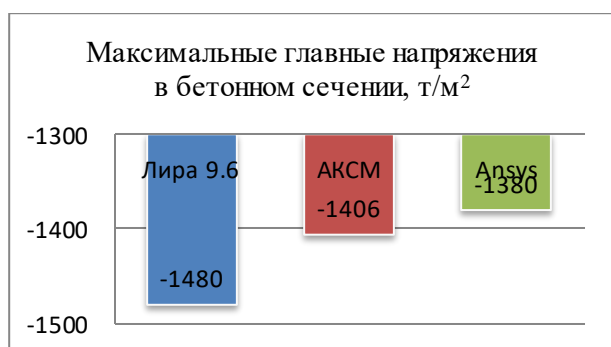
Таким образом выявлено, что при армировании центральной части узлов сопряжения колонн и балок монолитных каркасов зданий арматурными сетками и наклонными стержнями в качестве поперечной арматуры снижается величина касательных напряжений в бетоне и усилий в растянутой арматуре. Принятое поперечное армирование образцов в виде наклонных к оси колонны

отдельных стержней и сеток (рисунки 3б, 3в) совпадает с линиями действия главных растягивающих и касательных напряжений. Расположенная таким образом арматура совпадает с направлениями действия внутренних напряжений, за счет более рационального ее использования повышается расчетная прочность и трещиностойкость центральной части монолитных узлов сопряжения колонн и балок по сравнению с традиционной конструкцией узла, рекомендуемой [3], рисунок 3а.

а) Вариант армирования №1



б) Вариант армирования №2



в) Вариант армирования №3

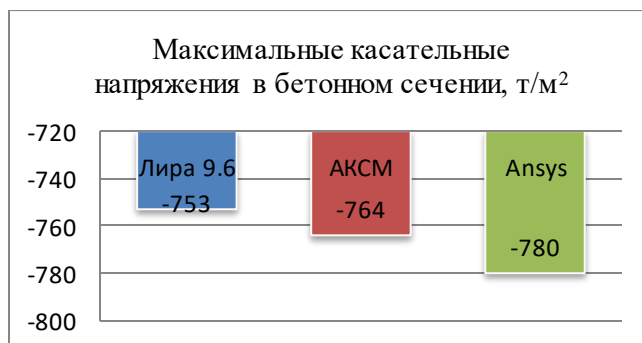
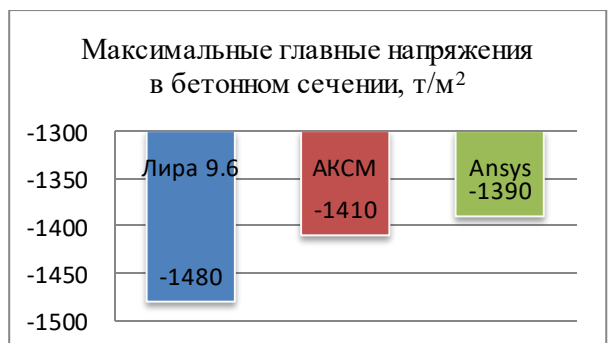


Рисунок 7 – Сравнительная оценка максимальных главных и касательных напряжений при расчете в программных комплексах и с помощью АКСМ при вариантах армирования: а – №1, б – №2, в – №3

Библиографический список:

1. Баранова Т.И. Инженерные методы восстановления поврежденных конструкций в период строительства железобетонных каркасных зданий / Т.И. Баранова, И.С. Гучкин, Д.В. Артюшин, Д.В. Попов // Региональная архитектура и строительство. – 2008. – №2. – С. 32-34.
2. Артюшин Д.В. Программа экспериментальных исследований монолитных узлов сопряжения колонн крайнего ряда с балками / Д.В. Артюшин, П.В. Коновалов // Моделирование и механика конструкций. 2019. – №10. – С. 185-192.
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М., Минстрой России, 2018.
4. Артюшин Д.В. Исследование напряженного состояния и характера разрушения монолитных узлов сопряжения колонн крайнего ряда с балками / Д.В. Артюшин, П.В. Коновалов // В сборнике: Прогрессивные технологии в современном машиностроении. Материалы и технологии XXI века. Сборник статей XVI Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2021. – С. 141-145.
5. Артюшин Д.В., Коновалов П.В. Моделирование физической работы узлов сопряжения колонн и балок монолитных каркасов многоэтажных зданий / Д.В. Артюшин, П.В. Коновалов // Моделирование и механика конструкций. 2022. – №16.
6. Артюшин Д.В. Сопротивление монолитных узлов сопряжения колонн и балок многоэтажных каркасов зданий / Д.В. Артюшин, П.В. Коновалов // Региональная архитектура и строительство. 2023. – № 1 (54). – С. 99-107.