

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-9-49-59

Тимофеев П.С.

Сибирский государственный университет путей сообщения

E-mail: pao.t@yandex.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЗЛА МОНОЛИТНОГО БЕЗБАЛОЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ СО СТАЛЕБЕТОННОЙ КОЛОННОЙ, С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕЗНОГО БАЛОЧНОГО УЗЛА, С УЧЕТОМ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ БЕТОНА И СТАЛИ

Аннотация. Представленное исследование проводит глубокий анализ работы узла монолитного безбалочного перекрытия, взаимодействующего со сталебетонной колонной с применением срезного балочного узла. С использованием метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS создается подробная геометрическая модель конструкции, что позволяет провести комплексное численное моделирование. Основное внимание уделяется изучению взаимодействия между бетоном и сталью в конструкции, а также передаче усилий через срезной узел. Полученные результаты включают детальную оценку распределения напряжений и деформаций в различных частях конструкции, что способствует более глубокому пониманию механического поведения системы в целом. Целью исследования является не только анализ эффективности применения срезного узла для обеспечения прочности и устойчивости перекрытия, но и выработка практических рекомендаций по оптимизации дизайна с целью улучшения взаимодействия материалов и повышения надежности строительных объектов. Представленное исследование важно для инженеров и проектировщиков, стремящихся к совершенствованию процессов проектирования и строительства в современной индустрии, а также для разработчиков нормативных документов в области строительства и инфраструктуры. Результаты исследования могут применяться при разработке новых технологий в строительстве.

Ключевые слова: монолитное безбалочное перекрытие, сталебетонная колонна, срезной балочный узел, численный анализ, метод конечных элементов (FEM), напряжения и деформации.

Введение. Целью численного исследования является проведение подробного сравнения расчетных параметров перекрытия, опирающегося на сталебетонные колонны при помощи балочного срезного узла (БСУ), и стандартного решения узла монолитного безбалочного перекрытия. Исследование включает в себя анализ параметров трещинообразования, деформаций и напряжений в арматурных стержнях для двух рассматриваемых случаев [1, 2].

С учетом все более широкого использования программных средств для расчета и проектирования, в данной работе проведено сравнение результатов, полученных с использованием программного комплекса Ansys и Autodesk Robot. Это позволяет убедиться в надежности и сопоставимости результатов при использовании различных инструментов для численного моделирования [3].

Данное исследование особенно актуально в контексте возведения высотных зданий, где возникают особые проблемы с конструктивной схемой. В современной практике строительства все чаще требуется реализация уникальных архитектурных концепций, предполагающих создание зданий с нестандартными формами и сложными геометрическими характеристиками. В связи с этим необходимо обеспечить строительство таких высотных зданий с использованием полного сталебетонного каркаса [4].

Следовательно, данное исследование не только призвано углубить наше понимание характеристик перекрытий с использованием срезного балочного узла, но также предоставить ценную информацию для проектировщиков и инженеров, способствуя оптимизации конструкций и повышению их надежности [5].

Методология. За основу расчета было взято монолитное трехпролетное перекрытие толщиной 250 мм и габаритами 8000×8000 мм (рис. 1, 2). Перекрытие опирается на железобетонные колонны габаритами 600×600 мм. В случае модели с БСУ присутствует металлический сердечник из прокатного двутаврового профиля.

Для разгрузки пролетов от дополнительных моментов и уменьшения деформаций в схеме перекрытия присутствуют консольные вылеты с каждой из сторон. Так же наличие консольных вылетов позволит избежать необходимости проведения дополнительного анализа перекрытий на продавливание крайними колоннами [6–8].

Описание моделирования в Ansys. Предпроцессором для моделирования геометрической модели являлся комплекс информационного моделирования Autodesk Revit. Данный комплекс позволяет максимально подробно составить элементную геометрическую модель конструкции с учетом арматурных стержней и дополнительных элементов, учитываемых в численном исследовании.

Для системы перекрытия с БСУ геометрические параметры узла были смоделированы в геометрии тела с назначением характеристик стали С345 по билинейной модели деформирования [8].

В монолитном перекрытии были реализованы вырезы по форме всех элементов профиля, для более полного геометрического соответствия идеализированной модели реальной конструкции.

Элементы балочного срезного узла выполнены из спаренных прокатных профилей С12, длиной 1010 мм. Для увеличения жесткостных характеристик данных элементов по верхней грани к ним приварена квадратная пластина с вершинами, расположенными на осях данных балочных элементов, толщиной 6 мм со стороной ребра 960 мм. Балочные элементы узла привариваются к стенкам колонны в одном направлении, а также к пластинам, заранее приваренным к торцам стенок колонны в другом [8].

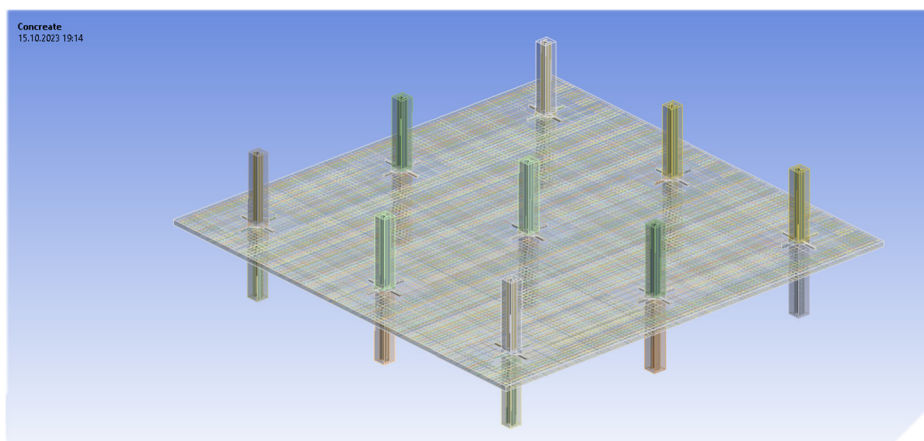


Рис. 1. Расчетная схема перекрытия с балочными срезными узлами в расчетной среде Ansys

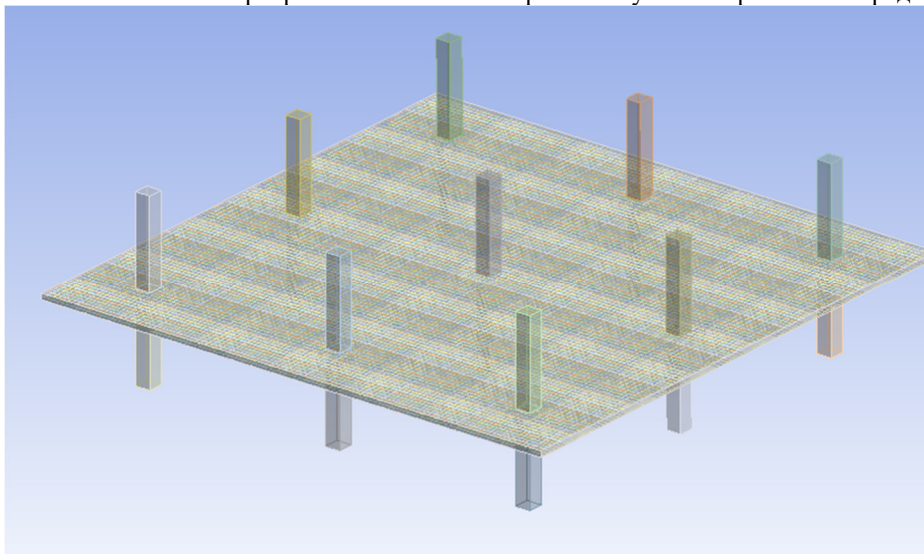


Рис. 2. Расчетная схема безбалочного монолитного перекрытия в расчетной среде Ansys

В качестве нагрузки на перекрытие была принята усредненная нагрузка на перекрытие общественного здания. В общем случае при расчете по первой группе предельных состояний данная нагрузка учитывает вес напольного покрытия, нагрузки от перегородок и полезные нагрузки с учетом требований актуализированных нормативных документов составляющими в сумме 13 кПа [9].

Для моделирования поэтапного нагружения и расчета геометрической нелинейности нагрузки использовался метод пошагового нагружения с минимально возможным количеством

подшагов равным 10 и максимальным равным 250.

Для определения прогибов и определения картины трещинообразования расчетные значения нагрузок были учтены с коэффициентом надежности, равным 1,0 [9].

Каждая колонна была ограничена по высоте предполагаемой высотой этажа и закреплена снизу жесткой связью, образуя жесткий диск с перекрытием.

Расчет в Ansys для моделей с БСУ и классического безбалочного перекрытия проводился в нелинейной постановке с учетом геометрической

и физической нелинейности. Для учета геометрической нелинейности использовался метод поэтапного нагружения конструкции, физическая нелинейность учитывалась с помощью нелинейной модели деформирования материала [10, 11].

Для моделирования нелинейности поведения бетона и более точного определения возможностей перекрытия воспринимать и перераспределять нагружения была принята модель деформирования Дрюкера-Праггера со следующими параметрами:

– коэффициент прочности (σ_c): представляет собой предел прочности бетона в сжатии. Этот параметр определяет, при каких значениях нормальных напряжений в бетоне начинается пластическое деформирование;

– коэффициент сдвиговой прочности (τ_{res}): определяет предел сдвиговой прочности бетона. Он играет важную роль в моделировании сдвиговых деформаций и разрушения бетона.

Параметры для описания деформации бетона и стали:

– модуль упругости бетона (E_c): значение описывает жесткость бетона в упругой области. Он определяет, как бетон деформируется под воздействием нормальных напряжений в упругой фазе;

– коэффициент Пуассона бетона (ν_c): параметр описывает связь между продольными и поперечными деформациями бетона. Величина обычно близка к 0.2;

– модуль упругости стали (E_s): значение описывает жесткость стали, которая используется для армирования сталебетонных конструкций [12–14].

Моделирование в Autodesk Robot Structural.

Для предварительного определения необходимой сетки армирования была создана расчетная модель в расчетном комплексе Robot Structural. Данный расчетный комплекс был выбран благодаря его способности проводить анализ и проектирование различных инженерных конструкций, включая сталебетонные элементы [15]. Важные возможности программного комплекса:

- комбинированные сталебетонные сечения;
- нелинейные расчеты, включая пластичность материалов и большие деформации;
- учет динамических нагрузок, таких как сейсмические и ветровые нагрузки;
- оценка безопасности и структурной надежности;
- визуализация результатов и создание отчетов.

Конечно-элементная модель с БСУ представляет собой классическую систему монолитного безбалочного перекрытия, опирающегося на колонны 600×600 мм с сердечником из прокатного профиля.

Балочный срезной узел был выполнен балками составного сечения, расположенными в теле плиты перекрытия. Для избежания повышенных значений усилий в местах пересечения жесткостей колонн и перекрытия вводились абсолютно жесткие тела (рис. 3).

Расчет проводился с учетом геометрической нелинейности по методу Ньютона-Рафсона, с пошаговым приращением нагрузки [16].

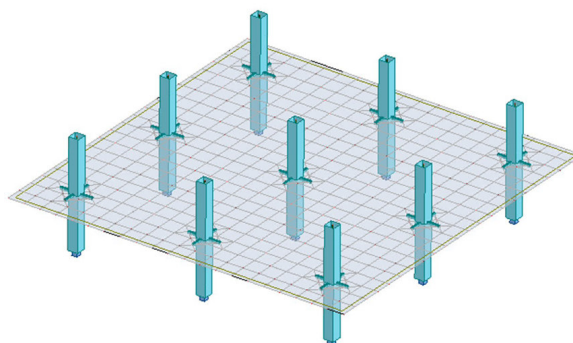


Рис. 3. Расчетная схема перекрытия с балочными срезными узлами в расчетном комплексе Robot structural

Результаты. Представление расчетных результатов для перекрытия балочными срезными узлами в расчетном комплексе Robot structural.

Важным элементом анализа данной модели являются параметры трещинообразования. После МКЭ-расчета конструкции и определения теоретической площади армирования, а также расчетов предельного состояния жесткости для каждого конечного элемента (КЭ), коэффициенты жесткости оцениваются в программе. Эти коэффициенты рассчитываются для двух направлений армирования, и в итоге для каждого КЭ получаются два значения жесткости. Для дальнейших расчетов используется взвешенное среднее значение жесткости, учитывая весовой коэффициент, который зависит от отношения моментов, действующих на КЭ в обоих направлениях.

Исходя из этого, можно предположить, что средневзвешенный приведенный коэффициент жесткости перекрытия отражает картину трещинообразования в элементах по одному из направлений действия основного момента (рис. 4, 5) [15].

По результатам расчета перекрытия в Robot Structural, с заданным значением армирования, соответствующим армированию, принятому в модели Ansys, получены максимальные значения прогибов в 77 мм рис. 6.

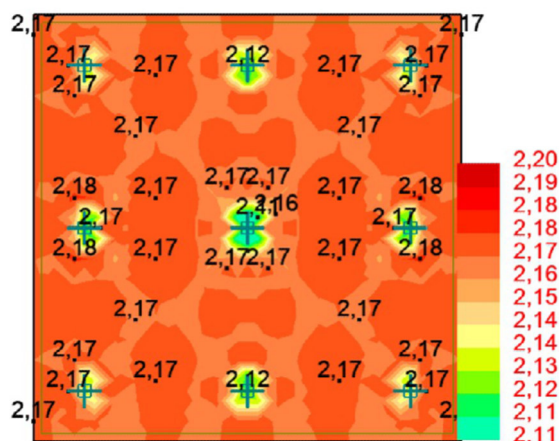


Рис. 4. Коэффициент жесткости перекрытия в направлении X в верхнем слое

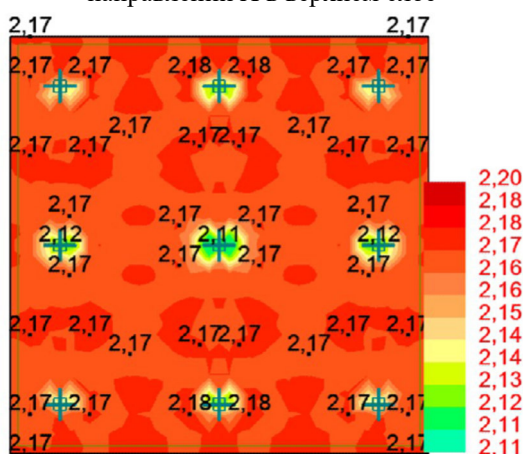


Рис. 5. Коэффициент жесткости перекрытия в направлении Y

Представление расчетных результатов для перекрытия с балочным срезным узлом в программной среде Ansys. На рис. 7 представлена картина пластических деформаций железобетон-

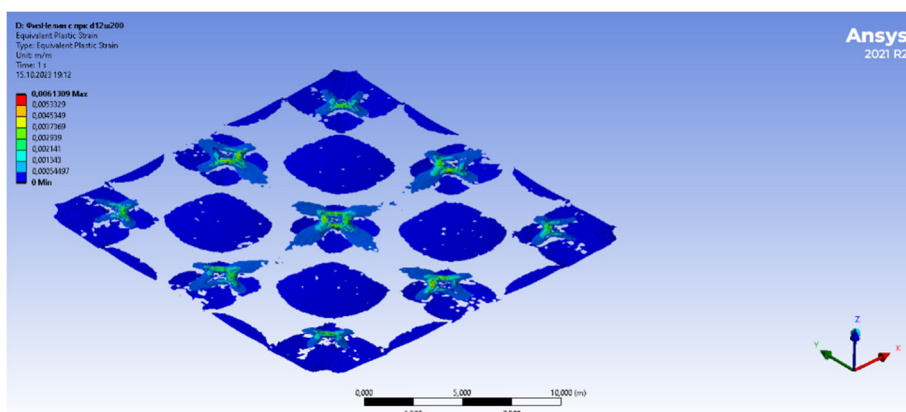


Рис. 7. Картина трещинообразования, для перекрытия с балочными срезными узлами рассчитанными в программном комплексе Ansys

Максимальные значения прогибов при расчете в программной среде Ansys по второй группе предельных состояний на нормативные

ного перекрытия с БСУ. Данная картина трещинообразования схожа с проведенным ранее опытом по предельной несущей способности элемента перекрытия. В зоне опирания перекрытия на сталебетонную колонну возникают характерные «трубы» из стохастических трещин, которые при последующем нагружении до стадии разрушения срываются в единую трещину и по ним происходит разрушение перекрытия [19, 20].

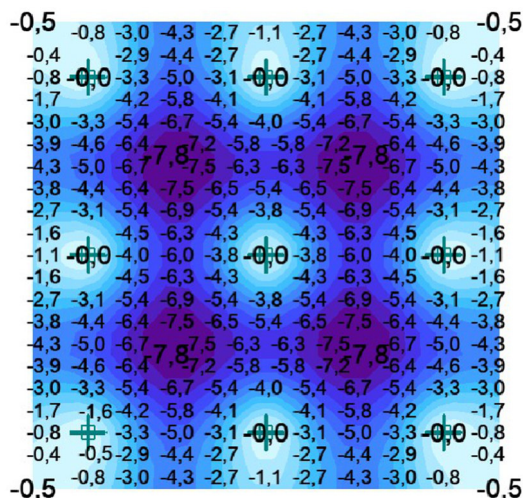


Рис. 6. Значения прогибов, рассчитанных в программном комплексе Robot Structural (см)

Так же балочные элементы БСУ выступают в роли скрытой капители из-за измененных параметров приведенной жесткости в зоне опирания и из-за перераспределения напряжений в зону увеличенной жесткости трещины в нижней зоне плиты остаются минимальными, как видно на рис. 7 [20].

Картина трещинообразования сходна с распределением J-интеграла для модели, рассчитанной в ПК Robot Structural (рис 5, 6).

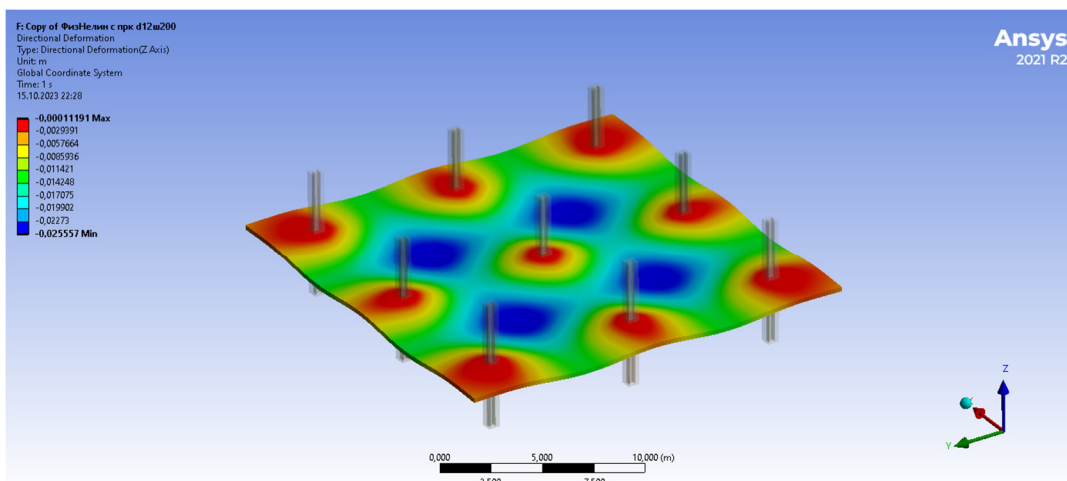


Рис. 8. Значения прогибов для перекрытия с БСУ, рассчитанных в программном комплексе Ansys

На рис. 9 представлена картина пластических деформаций для безбалочного монолитного перекрытия в классической постановке в программной среде Ansys. Данная картина трещинообразования схожа с теоретическими данными о

трещинообразовании и разрушении безбалочных перекрытий. Пластические деформации трещинообразования распределены более равномерно по объему плиты, согласно представлениям о деформации железобетонных элементов [1, 20].

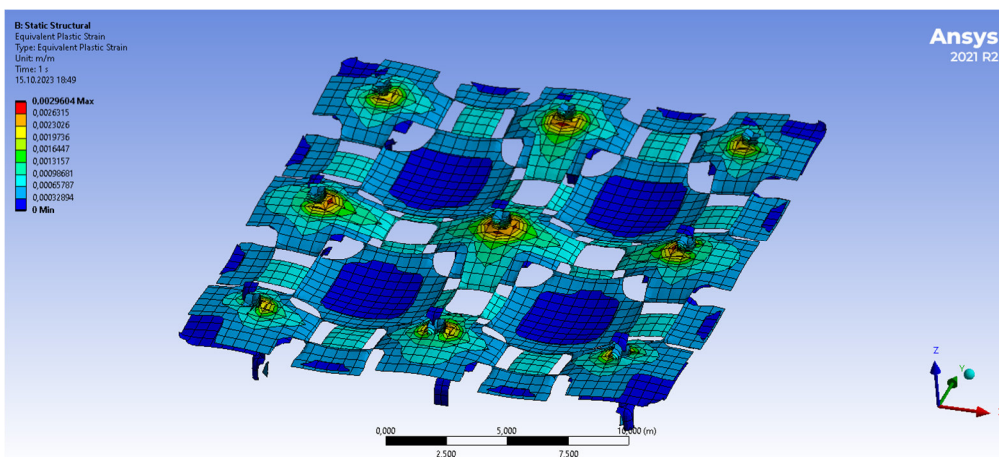


Рис. 9. Картина трещинообразования, для перекрытия безбалочных срезных узлов, рассчитанных в программном комплексе Ansys

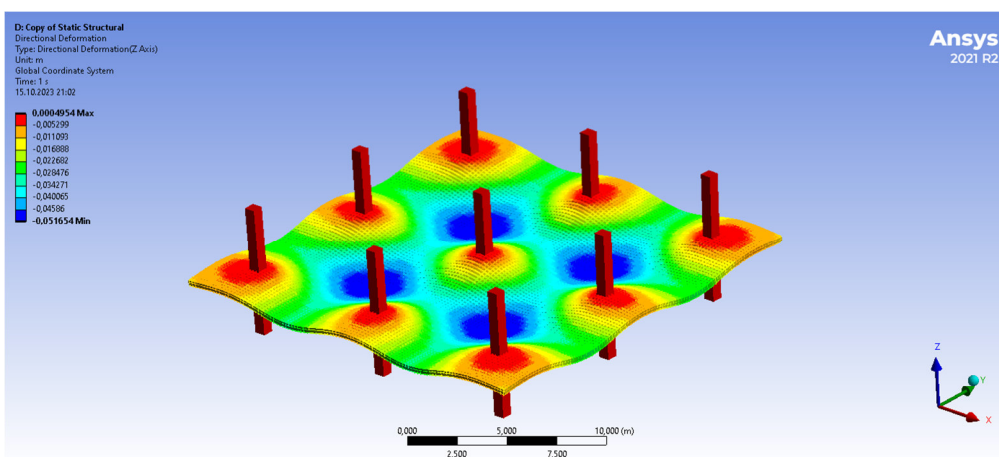


Рис.10. Значения прогибов, для перекрытия безбалочного срезного узла, рассчитанного в программном комплексе Ansys

Картины классического трещинообразования и прогибов монолитного перекрытия без рассматриваемых узлов демонстрируют характерные деформации и повреждения, возникающие в

таких конструкциях под нагрузкой. На рис. 10 представлены значения прогибов, полученные при расчете по второй группе предельных состояний. Картина представляет собой классическое

деформированное перекрытие с частичным разгрузением в зоне пролета консольными вылетами с каждой стороны.

Отсутствие безбалочных срезных узлов приводит к сосредоточению нагрузок в местах примыкания балки к колонне, что вызывает концентрацию напряжений и появление трещин. В центральной части пролета могут образовываться горизонтальные трещины, вызванные растягивающими усилиями, а вблизи опор – вертикальные трещины вследствие концентрации сжимающих напряжений, что представлено на рис. 9. Эти трещины способны постепенно распространяться, ухудшая прочность и долговечность конструкции [21].

Картина деформаций ясно иллюстрирует проблему увеличенных пролетов, характерную

для данного типа конструкций. В зоне пролета наблюдается значительное увеличение прогибов, что приводит к превышению допустимых пределов и вызывает недопустимые деформации. Прогибы в центральной части пролета указывают на недостаточную жесткость конструкции, требующую либо уменьшения пролета, либо увеличения сечения балки и количества арматуры [22].

Отсутствие узлов безбалочного срезного типа увеличивает риск локальных разрушений в зонах высокой концентрации напряжений, что снижает общую устойчивость перекрытия и требует дополнительных мер для усиления конструкции, таких как увеличение армирования или использование дополнительных поддерживающих элементов [3, 23].

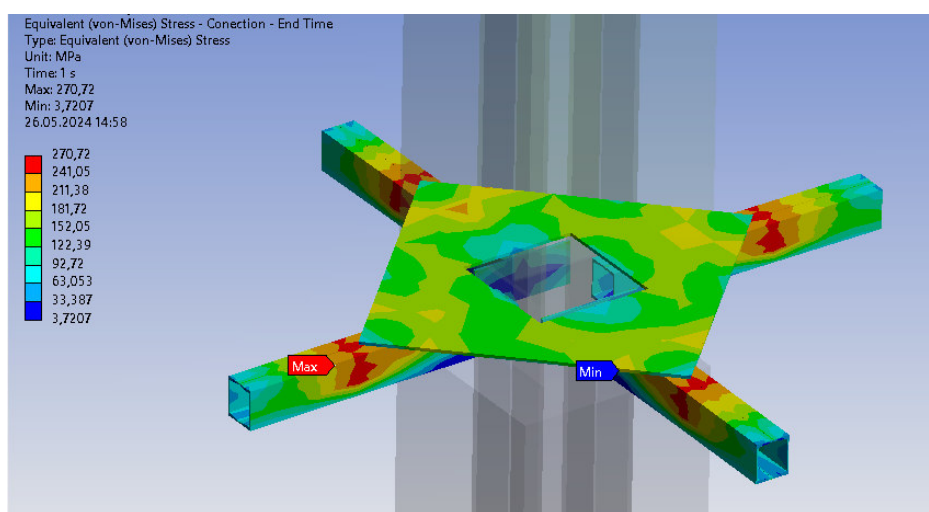


Рис. 11. Эквивалентные напряжения в балочном срезном узле (по Мизесу)

Балочный срезной узел в монолитном железобетонном перекрытии функционирует как критический компонент, перераспределяющий нагрузки и повышающий сдвиговую устойчивость конструкции. В нормальных условиях эксплуатации, когда балочные элементы еще не достигли предела текучести стали, узел эффективно распределяет напряжения между балкой и колонной. Металлические элементы балочного срезного узла работают в пределах упругой деформации, обеспечивая равномерное распределение сдвиговых и нормальных усилий, предотвращая локальные концентрации напряжений и возможные трещинообразования в бетоне [3, 23].

Однако, когда напряжения в балочных элементах достигают предела текучести стали, начинается процесс пластической деформации, как показано на рис. 11. На этом этапе металлические компоненты балочного срезного узла начинают пластически деформироваться, что приводит к перераспределению нагрузок внутри узла. Пла-

стическая деформация стали позволяет узлу поглощать дополнительную энергию и замедляет прогрессирующее разрушение конструкции [21].

По мере того, как балочные элементы продолжают находиться в состоянии текучести, прогибы конструкции начинают увеличиваться. Это увеличение прогибов свидетельствует о переходе узла из упругого в пластическое состояние работы. Несмотря на это, балочный срезной узел продолжает выполнять свою функцию по перераспределению нагрузок, предотвращая резкое и катастрофическое разрушение. Вместо этого, процесс деформации становится более контролируемым, что дает возможность для выявления и устранения потенциальных проблем до их критического развития [8].

Когда напряжения в балочных срезных узлах достигают значений, близких к пределу текучести стали, и узлы начинают пластически деформироваться, в арматурных стержнях как в зоне пролета, так и в зоне опоры происходят важные изменения, критически влияющие на поведение

всей конструкции. В нормальных условиях эксплуатации арматурные стержни работают в упругой стадии, деформируясь пропорционально приложенным нагрузкам и возвращаясь в исходное состояние при их снятии. Однако по мере увеличения нагрузки напряжения в арматурных стержнях приближаются к пределу текучести, и

стержни начинают переходить в стадию пластической деформации, при которой деформации становятся необратимыми. В результате этого процесса в зоне пролета начинают увеличиваться прогибы плиты, так как арматура уже не способна полностью сопротивляться изгибным моментам, согласно данным на рис. 13 [6].

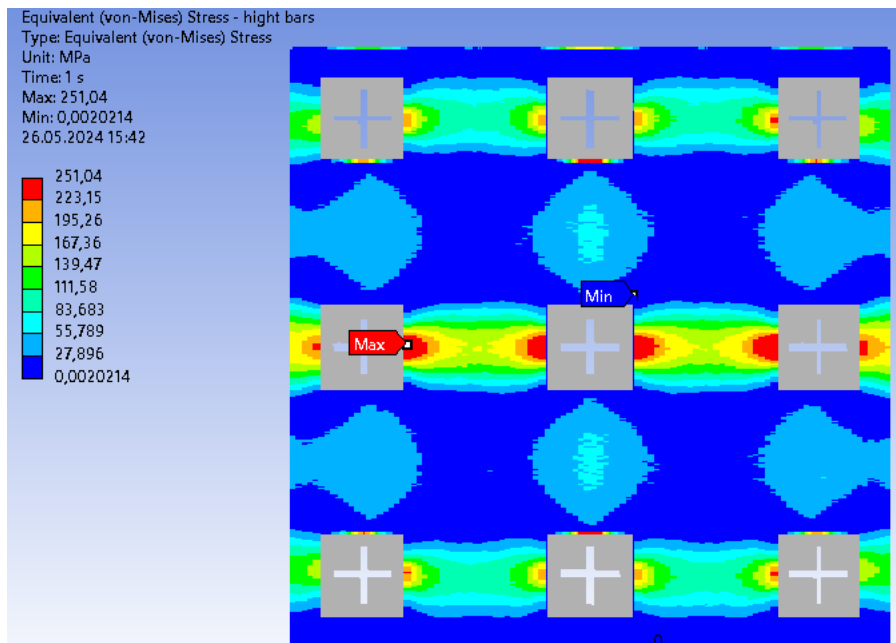


Рис. 12. Эквивалентные напряжения в стержнях верхнего слоя армирования

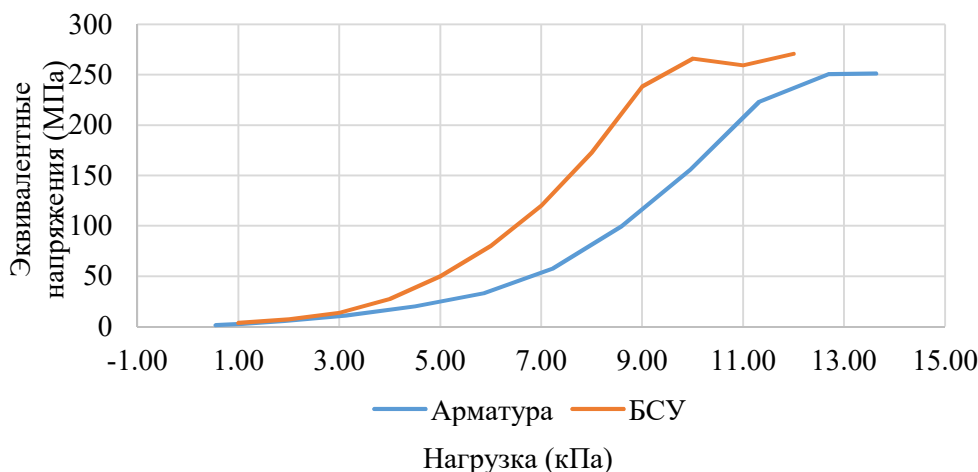


Рис. 13. График сравнения эквивалентных напряжений в балочных элементах узла и верхнем слое арматуры перекрытия

В зоне опоры арматурные стержни подвергаются высоким концентрациям напряжений из-за передачи нагрузки от плиты на колонны через БСУ. При достижении предела текучести стали арматурные стержни в зоне опоры также начинают пластически деформироваться, что приводит к перераспределению усилий в узле, так как сталь начинает «течь». Это увеличение пластической деформации вызывает увеличение прогибов и вертикальных деформаций всей конструкции,

что может повлиять на общий баланс и устойчивость плиты. Благодаря БСУ часть нагрузки перераспределяется более равномерно, что снижает риск локальных разрушений, но при этом увеличивает область пластической работы арматуры [3, 23].

Совокупное поведение системы при достижении предела текучести стали в арматурных стержнях в зоне пролета и опоры проявляется в повышении пластичности конструкции, которая приобретает способность поглощать больше

энергии за счет пластической деформации стали, что позволяет избежать внезапного разрушения. Однако это также ведет к увеличению прогибов как в пролете, так и в зоне опоры, что служит сигналом для проведения дополнительных обследований и возможного усиления конструкции. Перераспределение внутренних усилий, вызванное пластической деформацией арматуры, может временно компенсировать слабости конструкции, но требует внимательного мониторинга и возможного вмешательства для предотвращения дальнейших повреждений. Таким образом, при достижении предела текучести стали в арматурных стержнях конструкция переходит в состояние, требующее контроля деформаций и проги-

бов, а также планирования возможных мероприятий по укреплению и ремонту для обеспечения дальнейшей надежной эксплуатации [23].

При сравнении результатов расчета в программной среде Ansys перекрытия с БСУ и классического безбалочного монолитного перекрытия получены следующие результаты. В перекрытии с БСУ получен максимальный прогиб в зоне пролета величиной 40 мм. Этот результат объясняется эффективным перераспределением жесткости в зону скрытой капители, представленной балочными элементами узла. В классическом безбалочном монолитном перекрытии прогиб составил 77 мм. Результаты эксперимента показаны на рис. 14.

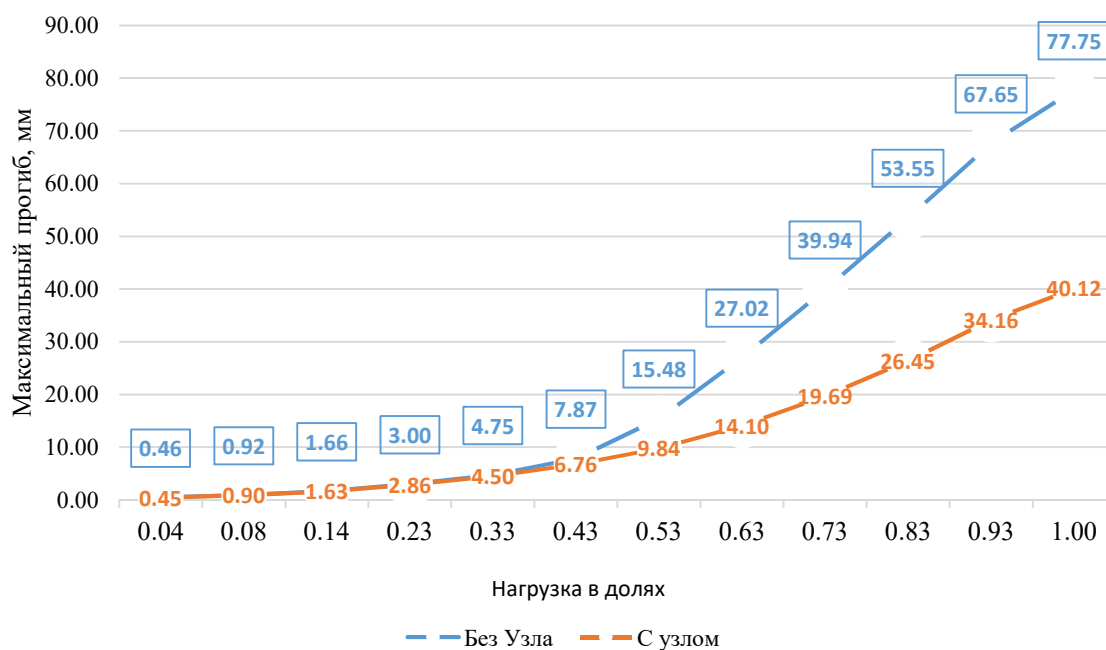


Рис. 14. График сравнения результатов

Балочный срезной узел демонстрирует значительное увеличение жесткости конструкции по сравнению с классическим балочным монолитным перекрытием. Это приводит к снижению деформаций и повышению общей надежности конструкции. Балочный срезной узел выступает в роли скрытой капители, воспринимая воздействие поперечных перерезающих плиты напряжений, позволяя оказаться от локального увеличения толщины перекрытия в приопорных зонах.

Выводы. Результаты численного эксперимента показали, что Картины деформаций и трещинообразования в монолитных железобетонных перекрытиях с балочными срезными узлами демонстрируют значительное улучшение в распределении нагрузок и устойчивости конструкции по сравнению с традиционными перекрытиями. На рис. 11 представлены значения прогибов,

полученные при расчете по второй группе предельных состояний для перекрытия, усиленного БСУ.

БСУ эффективно перераспределяют концентрированные нагрузки, которые возникают в местах примыкания балок к колоннам. Эти узлы снижают локальные напряжения, обеспечивая более равномерное распределение усилий по всей конструкции. В результате, в центральной части пролета значительно уменьшается вероятность появления горизонтальных трещин, вызванных растягивающими усилиями, и вертикальных трещин вблизи опор из-за концентрации сжимающих напряжений.

Прогибы перекрытия с БСУ существенно меньше по сравнению с традиционными конструкциями. Это связано с тем, что металлические элементы узла перераспределяют нагрузки, уменьшая деформации и предотвращая превышение допустимых пределов прогибов. Благодаря

этому, конструкция сохраняет свою жесткость и устойчивость даже при значительных эксплуатационных нагрузках.

Пластическая деформация стали в БСУ при достижении предела текучести стали позволяет узлам поглощать дополнительную энергию, предотвращая внезапное разрушение конструкции. Эта способность узлов увеличивает пластичность всей системы, позволяя ей выдерживать более высокие нагрузки без критических повреждений. Перераспределение напряжений также снижает риск локальных разрушений, что повышает общую долговечность и надежность перекрытия.

Таким образом, использование БСУ в монолитных железобетонных перекрытиях значительно улучшает их эксплуатационные характеристики. Узлы обеспечивают более равномерное распределение нагрузок, уменьшают прогибы и предотвращают образование трещин, что в совокупности повышает прочность, жесткость и долговечность конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Березовский Б.И., Евдокимов Н.И., Жада-новский Б.В., Розенбойм Л.С., Широкова Л.А. Возведение монолитных конструкций зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1981. 335 с.
2. Ведяков И.И., Конин Д.В., Крылов С.Б., Семенов В.А., Крылов А.С., Рожкова Л.С. Руководство по проектированию сталежелезобетонных конструкций. СТО АРСС 11251254.001-018-4. М.: АКЦИОМГРАФИКС ЮНИОН, 2018. 114 с.
3. American Concrete Institute. Guide to the Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures. American Concrete Institute, 2020. 224 с.
4. Brendel G. Stahlbetonbau unter Berücksichtigung des Spannbetons. Строительство с использованием предварительно напряженного сталебетона. Основные положения теории и практики. Лейпциг: V.G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1958. 350 с.
5. Джонсон Р.П. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4: проектирование сталежелезобетонных конструкций EN 1994-1-1. Москва: МИСИ-МГСУ, 2012. 413 с.
6. Bompa D.V., Elghazouli A.Y. Structural performance of RC flat slabs connected to steel columns with shear heads // Journal of Structural Engineering. 2016. Vol. 117, No. 15. Pp. 161–183.
7. Rafiee S., Marefat M.S. Experimental and Numerical Evaluation of New Seismic Details for Connection of Post-tensioned Flat Slabs to Edge Steel Columns // Current Trends in Civil & Structural Engineering. 2020. Vol. 6, No. 4. Pp. 5–17.
8. Kim C.-V., Lee C.-H., Kang T.H.-K. Reinforcement of Connections between Concrete Beam and Tube-Filled Concrete Column for Enhanced Shear Strength // ACI Structural Journal. 2018. No. 111-S52.
9. Sousa R., Batalha N., Rodrigues H. Numerical simulation of beam-to-column connections in precast reinforced concrete buildings using fibre-based frame models // Engineering Structures. 2020. Vol. 203. Article 109845.
10. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 [Электронный ресурс]. Введ. 2011-05-20. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 80 с. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293782/4293782487.htm> (дата обращения: 22.05.2024)
11. Youssef M.A., Elfeki M.A. Seismic performance of concrete frames reinforced with superelastic shape memory alloys // Smart Structures and Systems. 2012. Vol. 9, No. 4. Pp. 313–333.
12. Loqman N., Safiee N.A., Bakar N.A., Nasir N.A.M. Structural Behavior of Steel-Concrete Composite Beam using Bolted Shear Connectors: A Review // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 203. Article 601023:45.
13. Salman W.D. Finite element analysis of reinforced concrete beams strengthened with CFRP in flexural // Diyala Journal of Engineering Sciences. 2009. Vol. 02(02)/ Pp. 88–104. DOI:10.24237/djes.2009.02207.
14. Idelsohn S.R. Analysis of Reinforced Concrete Structures Using Ansys Nonlinear Concrete Model // Computational Mechanics. 1998. Vol. 1(8). Pp. 125–132.
15. MacGregor J.G. Mechanics and Design. 4th ed. NJ: Pearson. 2005. 909 p.
16. Wight J.K., MacGregor J.G. Железобетон: механика и проектирование. Москва: Издательский центр «Академия», 2012.
17. Справка Autodesk Robot Structural Analysis 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://help.autodesk.com/view/RSA-PRO/2022/RUS/?guid=GUID-E60964F0-7BA5-4E48-8339-9B46D03F6242> (дата обращения: 12.09.23).
18. Справка Autodesk Robot Structural Analysis 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.autodesk.com/RSAPRO/2014/RUS/index.html?url=filesROBOT/GUID-539BF9B3-3DA5-4E07-8BC6-15284F87843A.htm,topicNumber=ROBOTd30e61205> (дата обращения: 12.09.23).
19. Nilson A.H., Darwin, D., Dolan C.W. Проектирование бетонных конструкций. Москва: Издательство «Стройиздат», 2015.

20. American Concrete Institute. Требования к железобетонным конструкциям (ACI 318) и комментарии (ACI 318R). Москва: Издательство «Стройиздат», 2020.

21. Дилгер У.Х. Практическое армирование на срез для монолитных плоских плит перекрытий // PCA Research and Development Bulletin. 1966. № 66. С. 20–26.

Информация об авторах

Тимофеев Павел Сергеевич, аспирант кафедры здания, строительные конструкции и материалы. E-mail: pao.t@yandex.ru. Сибирский государственный университет путей сообщения. Россия, 630049, Новосибирск, Россия, ул. Д. Ковальчук, 191.

Поступила 11.04.2024 г.

© Тимофеев. П.С., 2024

Timofeev P.S.

Siberian Transport University

Email: pao.t@yandex.ru

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE MONOLITHIC BEAMLESS SLAB CONNECTION WITH A STEEL CONCRETE COLUMN USING SHEAR BEAM CONNECTION, CONSIDERING THE JOINT WORK OF CONCRETE AND STEEL

Abstract. *The presented study conducts a comprehensive analysis of the performance of a monolithic slab-column connection utilizing a shear key. Utilizing the finite element method in the ANSYS software suite, a detailed geometric model of the structure is developed, facilitating complex numerical simulations. Special attention is paid to the interaction between concrete and steel within the structure, as well as the transfer of forces through the shear key. The obtained results include a detailed assessment of stress and deformation distribution in various components of the structure, enhancing the overall understanding of its mechanical behavior. The aim of the study is not only to analyze the effectiveness of employing a shear key to ensure the strength and stability of the slab-column connection, but also to generate practical recommendations for optimizing the design to improve the interaction between materials and enhance the reliability of construction projects. The presented research is significant for engineers and designers seeking to improve the processes of design and construction in the modern industry, as well as for developers of regulatory documents in the field of construction and infrastructure. The findings of the study can be applied in the development of new construction technologies.*

Key words: *monolithic flat slab, composite column, shear connection, numerical analysis, finite element method (FEM), stresses and deformations*

REFERENCES

1. Berezovskiy B.I., Evdokimov N.I., Zhadonovskiy B.V., Rozenboym L.S., Shirokova L.A. Construction of monolithic structures of buildings and structures [Vozvedenie monolitnykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy]. Moscow: Stroyizdat, 1981. 335 p. (rus)
2. Vedyakov I.I., Konin D.V., Krylov S.B., Semenov V.A., Krylov A.S., Rozhkova L.S. Manual for the design of steel-reinforced concrete structures [Rukovodstvo po proektirovaniyu stalezhelezobetonnykh konstruksiy]. STO ARSS 11251254.001-018-4. Moscow: AKSIOMGRAFIKS UNION, 2018. 114 p. (rus)
3. American Concrete Institute. Guide to the Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures. American Concrete Institute, 2020. 224 p.
4. Brendel G. Stahlbetonbau unter Berücksichtigung des Spannbetons. Construction with preservation of residual steel concrete. Basic principles of theory and practice [Stroitelstvo s ispolzovaniem predvaritelno napryazhennogo stalezhelezobetona. Osnovnye polozheniya teorii i praktiki]. Leipzig: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1958. 350 p. (rus)
5. Johnson R.P. Designer's Guide to Eurocode 4: Design of Steel and Composite Structures EN 1994-1-1 [Rukovodstvo dlya proektirovshchikov k Evrokodu 4: proektirovanie stalezhelezobetonnykh konstruksiy EN 1994-1-1]. Moscow: MISI-MGSU, 2012. 413 p. (rus)
6. Bompa D.V., Elghazouli A.Y. Structural performance of RC flat slabs connected to steel columns with shear heads. Journal of Structural Engineering. 2016. Vol. 117, No. 15. Pp. 161–183.

7. Rafiee S., Marefat M.S. Experimental and Numerical Evaluation of New Seismic Details for Connection of Post-tensioned Flat Slabs to Edge Steel Columns. *Current Trends in Civil & Structural Engineering*. 2020. Vol. 6, No. 4. Pp. 5–17.
8. Kim C.-V., Lee C.-H., Kang T.H.-K. Reinforcement of Connections between Concrete Beam and Tube-Filled Concrete Column for Enhanced Shear Strength. *ACI Structural Journal*. 2018. No. 111–S52.
9. Sousa R., Batalha N., Rodrigues H. Numerical simulation of beam-to-column connections in precast reinforced concrete buildings using fibre-based frame models. *Engineering Structures*. 2020. Vol. 203. Article 109845.
10. SP 20.13330.2011. Loads and Impacts. Updated edition of SNiP 2.01.07-85 [Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85]. Introduced 2011-05-20. Moscow: OAO «TsPP», 2011. 80 p. Available at: <https://megacnorm.ru/Index2/1/4293782/4293782487.htm> (accessed: 22.05.2024).
11. Youssef M.A., Elfeki M.A. Seismic performance of concrete frames reinforced with superelastic shape memory alloys. *Smart Structures and Systems*. April 2012. Vol. 9, No. 4. Pp. 313–333.
12. Loqman N., Safiee N.A., Bakar N.A., Nasir N.A.M. Structural Behavior of Steel-Concrete Composite Beam using Bolted Shear Connectors: A Review. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 203. Article 601023:45.
13. Salman W.D. Finite element analysis of reinforced concrete beams strengthened with CFRP in flexural. *Diyala Journal of Engineering Sciences*. 2009. Vol. 02(02). Pp. 88–104. DOI:10.24237/djes.2009.02207
14. Idelsohn S.R. Analysis of Reinforced Concrete Structures Using Ansys Nonlinear Concrete Model. *Computational Mechanics*. 1998. Vol. 1(8). Pp. 125–132.
15. MacGregor J.G. *Mechanics and Design*. 4th ed. NJ: Pearson. 2005. 909 p.
16. Wight J.K., MacGregor J.G. *Reinforced Concrete: Mechanics and Design [Zhelezobeton: mekhanika i proektirovanie]*. Moscow: Izdatelskiy tsentr «Akademiya», 2012.
17. Autodesk Robot Structural Analysis 2022 Reference [Elektronnyy resurs]. URL: <https://help.autodesk.com/view/RSA-PRO/2022/RUS/?guid=GUID-E60964F0-7BA5-4E48-8339-9B46D03F6242> (accessed: 12.09.23).
18. Autodesk Robot Structural Analysis 2014 Reference [Elektronnyy resurs]. URL: <http://docs.autodesk.com/RSAPRO/2014/RUS/index.html?url=filesROBOT/GUID-539BF9B3-3DA5-4E07-8BC6-15284F87843A.htm,top-icNumber=ROBOTd30e61205> (accessed: 12.09.23).
19. Nilson A.H., Darwin D., Dolan C.W. *Design of Concrete Structures [Proektirovanie betonnykh konstruksiy]*. Moscow: Izdatelstvo «Stroyizdat», 2015.
20. American Concrete Institute. *Requirements for Reinforced Concrete Structures [Trebvaniya k zhelezobetonnykh konstruksiyam]*. Moscow: Stroyizdat, 2019.
21. Dilger U.H. *Practical Shear Reinforcement for Monolithic Flat Slabs [Prakticheskoe armirovaniye na srez dlya monolitnykh ploskikh plit perekrytiy]*. PCA Research and Development Bulletin. 1966. No. 66. Pp. 20–26.
22. Leyman I.A., Gorshkov G.V. *Design of Monolithic Reinforced Concrete Structures: A Textbook [Proektirovanie monolitnykh zhelezobetonnykh konstruksiy: uchebnoye posobie]*. Moscow: Stroyizdat, 2001. 420 p.
23. ACI Committee 421. *Shear Reinforcement for Slabs: Report of ACI Committee 421*. Farmington Hills, MI: ACI, 2008. 58 p.

Information about the authors

Timofeev, Pavel S. Graduate Student of the Department of Building, Construction Structures and Materials. E-mail: pao.t@yandex.ru. Siberian Transport University. Russia, 630049, Novosibirsk, 191 Dusi Kovalchuk Street.

Received 11.04.2024

Для цитирования:

Тимофеев П.С. Численное исследование работы узла монолитного безбалочного перекрытия со стале-бетонной колонной, с применением срезного балочного узла, с учетом совместной работы бетона и стали // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №9. С. 49–59. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-9-49-59

For citation:

Timofeev P.S. Numerical investigation of the monolithic beamless slab connection with a steel concrete column using shear beam connection, considering the joint work of concrete and steel. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2024. No. 9. Pp. 49–59. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-9-49-59