

## УЗЛОВЫЕ РЕШЕНИЯ В СТАЛЬНЫХ МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЯХ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПЕРЕСЕЛЕНИЯ ИЗ АВАРИЙНОГО И ВЕТХОГО ЖИЛЬЯ

Царёва О.С., Козодаева В.С., Андреев В.М., Свириденко Д.А.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)  
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29  
e-mail: valeriii.kozodoy@mail.ru

**Аннотация:** В России на сегодняшний день стоит вопрос переселения из старого жилищного фонда, который не удовлетворяет стандартам благоприятной жилой среды, и признан аварийным или ветхим. Доля такого жилья с каждым годом лишь увеличивается, поэтому сокращение таких построек выступает в качестве одной из наиболее важных задач современной жилищной политики.

**Предмет исследования.** Предметом исследования является узловое соединение металлических модульных конструкций, обеспечивающее пространственную жёсткость и соответствие требованиям нормативов по динамической комфортности. В условиях ускоренного строительства и необходимости переселения граждан из аварийного жилья, модульные здания становятся одним из наиболее перспективных направлений. Однако конструкции на основе металлического каркаса с податливыми соединениями часто не соответствуют нормативам по вибрационному комфорту, что требует разработки новых технических решений.

**Материалы и методы.** Разработанное соединение состоит из двух соединительных пластин толщиной 40 мм, привариваемых к колоннам, с последующим болтовым креплением. Для оценки эффективности узла были построены три варианта конечно-элементных моделей: пластинчатая модель с болтами и сваркой, упрощённая пластинчатая модель без деталей соединения и стержневая модель с использованием абсолютно жёстких тел (АЖТ). Все модели были рассчитаны в ЛИРА-САПР с применением трёх видов нагрузок: фронтальный и боковой ветер, а также нагрузка у лестничной шахты.

**Результаты.** Расчёты показали, что при использовании упрощённой модели точность остаётся приемлемой для глобальной оценки несущей способности. Проверка смоделированного 11-этажного здания подтвердила прохождение норм по динамической комфортности: ускорение на последнем этаже составило 0,08 м/с<sup>2</sup>.

**Выводы.** Предложенное узловое соединение обеспечивает необходимую жёсткость без применения железобетонного ядра, что упрощает строительство модульных зданий и сокращает сроки их возведения, сохраняя соответствие действующим нормативам. Дополнительно, универсальность конструкции позволяет адаптировать ее под различные архитектурные и инженерные решения, обеспечивая гибкость проектирования в условиях массового жилищного строительства.

**Ключевые слова:** аварийное жилье, модульные конструкции, металлический каркас, узловые соединения, модульное строительство, префабрикация.

## ВВЕДЕНИЕ

Целью данного исследования является разработка и проверка узлового соединения металлических контейнеров, позволяющих пройти нормы динамической комфортности.

Поставлены следующие задачи:

1. Описать разработанное узловое соединение
2. Разработать наиболее оптимальный вариант реализации узла в расчетной схеме
3. Произвести сравнительный анализ разных расчётных схем на восприятие нагрузок
4. Выполнить проверку узлового соединения на модели модульного жилого дома

Жилищный фонд является одним из ключевых элементов социально-экономической сферы любого государства. Его состояние напрямую влияет на качество жизни большинства населения. В России на сегодняшний день стоит вопрос переселения из старого жилищного фонда, который не удовлетворяет стандартам благоприятной жилой среды, и признан аварийным или ветхим. Доля такого жилья с каждым годом лишь увеличивается из-за низких темпов сноса или вывода аварийного

фонда из эксплуатации [1-3]. Поэтому сокращение аварийного жилищного фонда выступает в качестве одной и наиболее важных задач современной жилищной политики» [1]. Требуется разрабатывать высокоэффективные механизмы поддержания технического состояния зданий либо строительства нового жилья. Одним из таких высокоэффективных механизмов может послужить строительство зданий из модульных конструкций [3].

Модульные здания представляют собой универсальные, быстро собираемые и разбираемые конструкции различного назначения. Они создаются на основе стандартных модулей или блок-контейнеров. Данная технология инновационна и с каждым годом набирает все больше оборотов в мире, в том числе и в России. К тому же, она идеально подходит для ситуаций, где нуждается быстрое реагирование для удовлетворения спроса [3-10, 15, 17]. Рынок префаб и модульных конструкций в России активно развивают на данный момент такие компании, как ЕВРАЗ совместно с Knauf [5]. Также торговая марка «MODULBAU» производит два типа модульных конструкций: санитарно-технический модуль и фасадно-стеновой модуль [16].

Модульная конструкция имеет существенные преимущества, среди которых [3-8, 20-24]:

1) Уменьшение сроков возведения объектов, благодаря изготовлению модульных блоков на заводе изготовителя с их готовыми проектными решениями по техническому каталогу.

2) Снижение стоимости проектной документации за счет простоты монтирования с готовыми шаблонами проектирования изготовителя.

3) Повышение безопасности объектов ввиду многочисленных испытаний перед введением модульных блоков на строительную площадку.

4) Сокращение строительных отходов по причине проведения основных работ на заводе изготовителя.

5) Исключение человеческого фактора при помощи автоматизированного производства модульных блоков.

6) Отсутствие «мокрых работ» благодаря автоматизированному производству на заводе изготовителя.

Преимуществом рассматриваемых стальных модульных систем по сравнению с другими материалами, является большая гибкость в архитектурном проектировании благодаря открытой системе каркаса и большим размерам модулей. Скорость строительства стальной модульной системы также выше, поскольку она обычно включает болтовые соединения, в то время как бетонная модульная система часто требует заливки швов на месте. Вес готовых стальных модулей также на порядок ниже, чем бетонных [6].

Однако, как у любой технологии, у модульного строительства есть свои недостатки [6, 11, 18-19]:

- необходимость дополнительных решений в обеспечении пожарной безопасности;
- повышенная ответственность межмодульных соединений;
- усложнение координации строительства;
- повышенные требования к грузоподъемности используемых строительных кранов;
- специальные требования к перевозке.

Особое внимание следует уделять тому, что здания из металлического каркаса, с использованием податливых узловых соединений не соответствуют нормативным по динамической комфортности (пункт В6 СП20.13330.2016) в связи с этим при построение зданий, и достижение достаточной жесткости конструкций необходимо возводить ядро из железобетона, что в свою очередь сильно замедляет процесс возведения здания, из-за необходимости набора бетоном достаточной прочности, а в некоторых регионах в связи с трудностью логистики не является возможным использование бетона.

С межмодульными узловыми соединениями проводится множество исследований, направленных на поиски потенциального решения для повышения их надежности [25-26]. В данной статье предлагается потенциальное решение данной

проблемы, связанное с изготовлением специальных металлических узловых решений, достаточно жестких для обеспечения прохождения норм динамической комфортности, связанных с пребыванием людей на последнем этаже модульного здания и исключает необходимость в железобетонном ядре.

## МЕТОД

Узел, состоит из двух соединительных пластин толщиной 40 мм которые привариваются к стальным колоннам на заводе изготовителе и проваривается полностью, так что мы считаем данное соединение равнопрочным. Пластины соединяют 6 болтов, что обеспечивает достаточную жесткость соединения, и исключает повороты. Болтовые межмодульные соединения просты в монтаже и обеспечивают возможность разборки модульного здания [11-14].



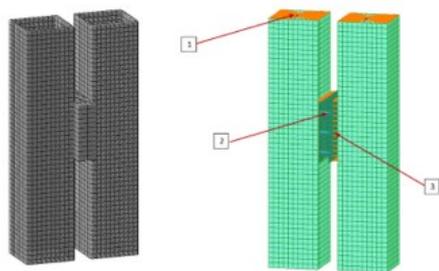
**Рис. 1.** Узловое соединение  
**Fig. 1.** Angular connection

Для проверки работы данного узлового соединения, и проверку передачи усилий и деформаций произведем моделирование узла в различной постановке, с одинаковыми нагрузками в трех расчетных ситуациях.

При разработке проекта модульного здания, во избежание неравномерности осадок, и уменьшения взаимного влияния модулей средняя нагрузка в здании имеет одинаковые значения. В связи с вышесказанным наибольшее взаимное влияние получают крайние узлы сопряжения модулей, воспринимающие наибольшие ветровые нагрузки. Для анализа были выбраны зоны, воспринимающие ветер по X, по Y, а также зона, примыкания к лестничной шахте.

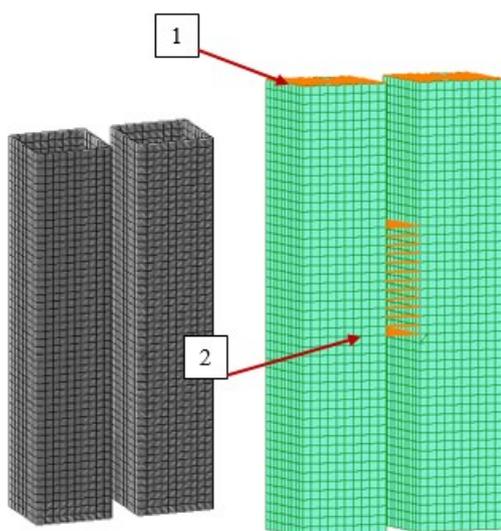
Ниже представлено описание расчетных моделей, построенных в сертифицированном программном комплексе ЛИРА САПР. Расчетные модели построены в стержневой и пластинчатой постановках. При построении моделей использовались особые КЭ – абсолютно жесткие тела (далее АЖТ). Применение АЖТ позволяет

передать необходимые усилия, с учетом эксцентриситета. В следующем пункте данной статьи, следует описание расчётных моделей.



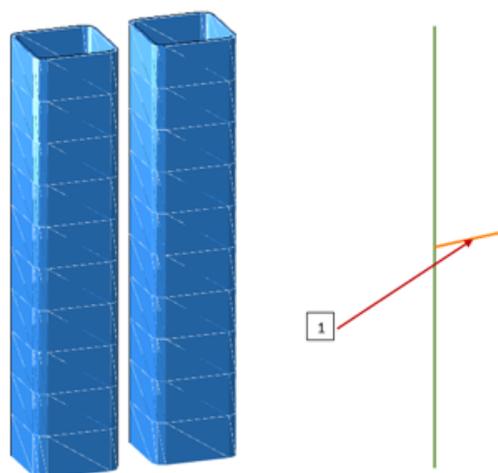
**Рис. 2.** Расчетная модель узла соединения вариант 1  
**Fig. 2.** Calculation model of the connection node option 1

Конечно-элементная модель узла в варианте 1 выполнена в пластинчатой постановке, для равномерного распределения усилий и передаче усилия на колонны, был построен узел, в центре колонны и соединен с помощью АЖТ с основным телом колонны (1). Для соединения пластин, используются стержневые конечные элементы полностью повторяя болтовое соединение (2). Для моделирования сварного соединения пласти и колонны также были применены АЖТ (3).



**Рис. 3.** Расчетная модель узла соединения вариант 2  
**Fig. 3.** Calculation model of the connection node option 2

Конечно-элементная модель узла в варианте 2 выполнена в пластинчатой постановке, для равномерного распределения усилий и передаче усилия на колонны, был построен узел, в центре колонны и соединен с помощью АЖТ с основным телом колонны (1). Соединение колонн происходит при помощи АЖТ (2), данное упрощение было добавлено, для анализа влияния моделирования соединительных пластин и болтов на деформирования расчетной схемы.



**Рис. 4.** Расчетная модель узла соединения вариант 3  
**Fig. 4.** Calculation model of the connection node option 3

Конечно-элементная модель узла в варианте 3 выполнена в стержневой постановке, Соединение колонн происходит при помощи АЖТ (1).

Назначенные характеристики материалов и граничные условия аналогичные во всех трех вариантах конструирования.

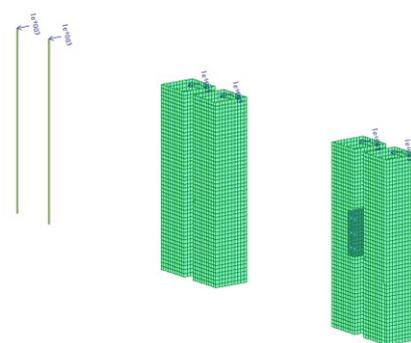
#### Приложение нагрузок

Нагрузка на расчетные модели прикладывается в виде узловой, на центральный узел колонны. Значения прикладываемых нагрузок значительно завышено, для наглядности экспериментов. В данном исследовании рассматривается три расчетные ситуации:

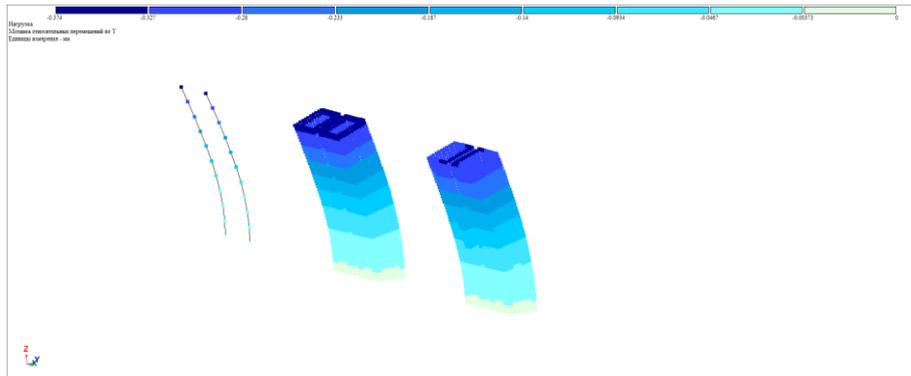
1. Ветер по Y: нагрузка приложена на узел каждой колонны.
2. Ветер по X: нагрузка приложена на узел одной колонны.
3. Примыкание к лестнице: различная вертикальная нагрузка приложена на каждый узел колонны.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Первая расчетная ситуация:



**Рис. 5.** Приложение нагрузок  
**Fig. 5.** Application of loads

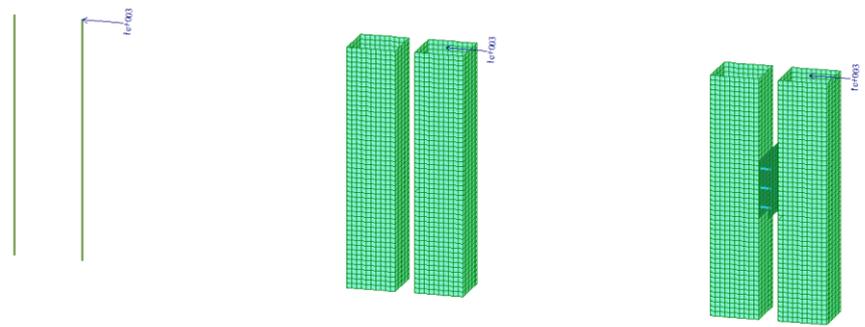


**Рис. 6.** Деформированная схема, перемещения по Y  
**Fig. 6.** Deformed diagram, displacement along Y

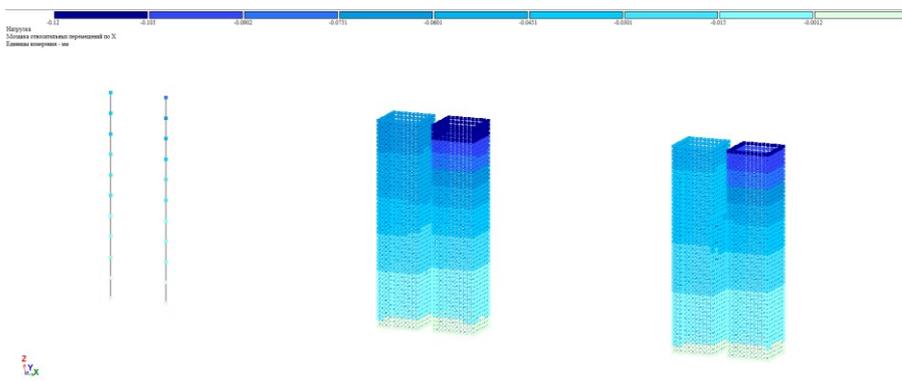
На деформированной схеме, можно заметить, что деформации в различных ситуациях имеют схожих характер, но в первом варианте, с соединительными пластинами, из-за меньшей жесткости соединения, наибольшее перемещение

схемы сосредоточено около узла, а в остальных схемах оно распределено, что может служить дополнительным запасом в итоговом моделировании расчетной схемы.

**Вторая расчетная ситуация:**



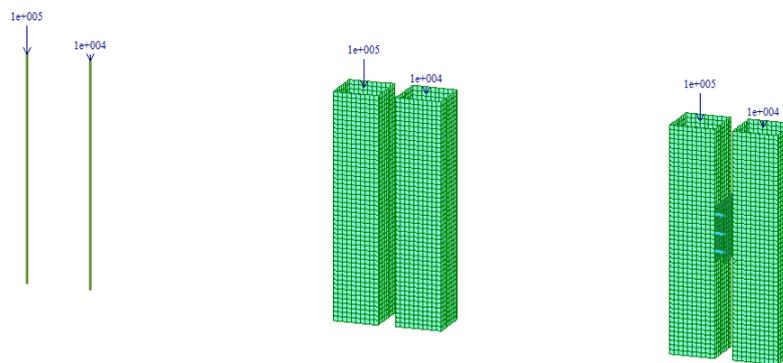
**Рис. 7.** Приложение нагрузок, вторая расчетная ситуация  
**Fig. 7.** Application of loads, the second calculated situation



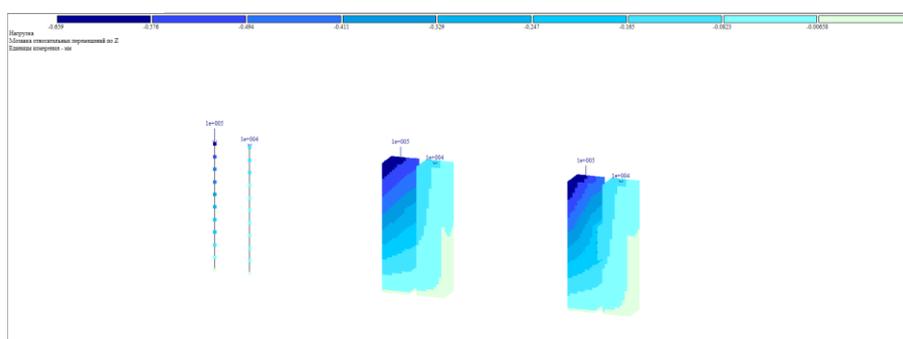
**Рис. 8.** Перемещение по X, вторая расчетная ситуация  
**Fig. 8.** Moving along X, the second calculated situation

Во второй расчетной ситуации мы можем наблюдать схожую картину: характер деформирования одинаков, но в данном моделировании наибольшие различия наблюдаются

во втором примере, где отсутствие соединительных пластин и наиболее жесткое соединения между колоннами показывает наибольшее влияние и передачу усилий в сравнении с другими примерами.

**Третья расчетная ситуация:**

**Рис. 9.** Приложение нагрузок, третья расчетная ситуация  
**Fig. 9.** Application of loads, the third calculated situation



**Рис. 10.** Перемещения по Z, третья расчетная ситуация  
**Fig. 10.** Z-movement, the third calculated situation

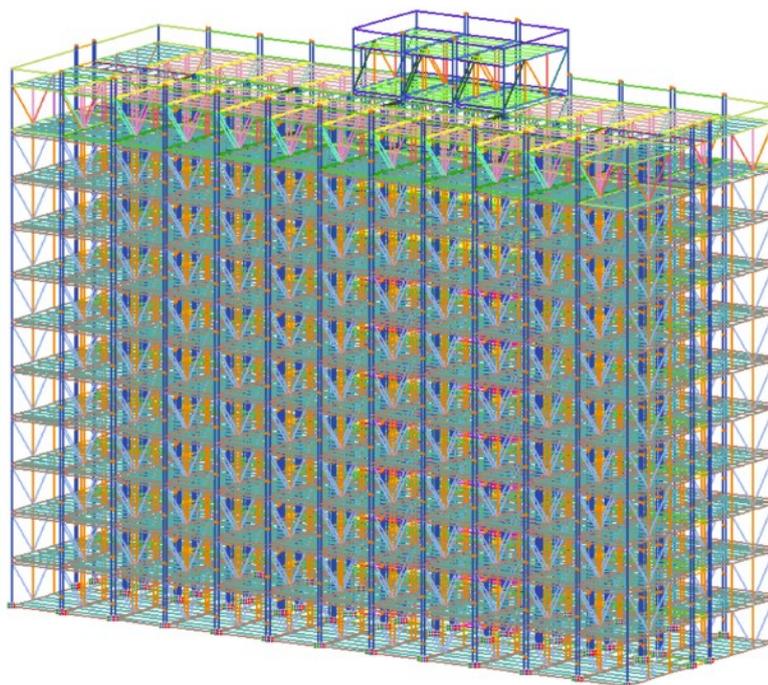
В третьей расчетной ситуации мы видим схожую ситуацию взаимодействия колонн с разной сжимающей силой, наибольшее различие наблюдается в первом варианте с соединительной пластиной. Моделирование данного узла позволяет точнее определить область передачи усилий, что наиболее важно при расчете узловых соединений, но не является необходимым в расчете цельной схемы, так как размер области не вносит вклад в работу цельной конструкции.

В данной работе были построены и проанализированы три варианта построения расчетной схемы узла соединения модельного здания, при этом расчетные схемы были выбраны по пути упрощения: пластинчатая постановка с учетом соединительных пластин и болтов, пластинчатая постановка без учета пластин, болтов и стержневая постановка. На данных схемах были проанализированы три расчетные ситуации: боковой ветер, прямой ветер и различное загрузке. В статье [14] представлено аналогичное узловое соединение, состоящее из пластин, жестко приваренных к модульным блокам и скрепленных

болтами, в ней упоминается способность узловых соединений выдерживать большие нагрузки, в том числе сейсмические.

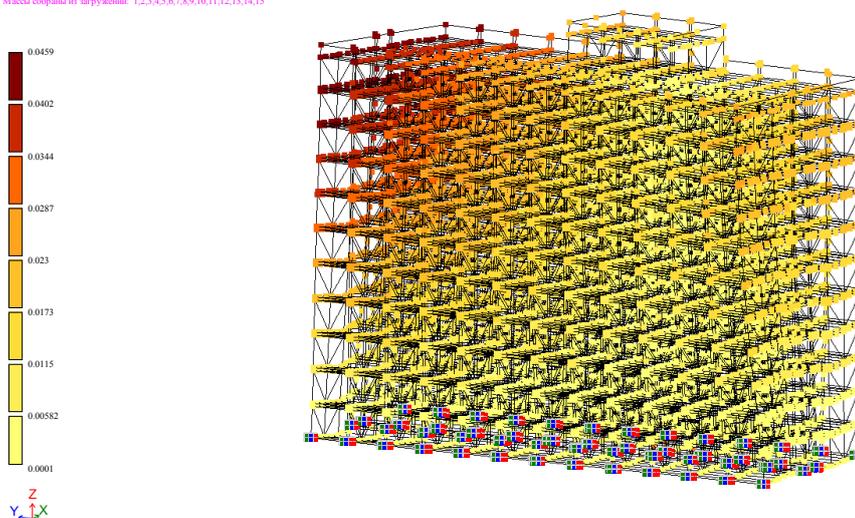
Результаты показали, что особенности моделирования узлового соединения, вносят свой вклад только при точечном расчете самого узла, и не будут влиять на работу цельной конструкции здания, следовательно при построении расчетной схемы всего здания, можно использовать упрощенный вариант моделирования в стержневой постановке с использованием АЖТ.

Для исследования данного узлового соединения, было спроектировано одно подъездное 11 этажное жилое здание из модульных конструкций, на расчетную модель, которая представлена ниже (Рис.11), постоянные, временные и кратковременные нагрузки, включая пульсации ветра в соответствии с СП 20.13330.2016. Сечения всех элементов металлических конструкций были подобраны в соответствии с СП 16.13330.2017. И далее была произведена проверка на динамическую комфортность (Рис.12)



**Рис. 11. Расчетная схема**  
**Fig. 11. Calculation scheme**

Пульсация X  
Составленная 2  
Метрика ускорений a  
Единицы измерения - м/с<sup>2</sup>  
Массы собраны из нагрузок: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15



**Рис. 12. Результаты максимального ускорения**  
**Fig. 12. Results of maximum acceleration**

Максимальное ускорение последнего этажа жилого здания не превышает  $0,08 \text{ м/с}^2$ , что удовлетворяет пункту В3 «Динамическая комфортность» в СП 20.13330.2016.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы был описан узел соединения модульных блоков, после были рассмотрены способы реализации данного узла в разных постановках и произведен сравнительный

анализ расчетных схем на восприятие нагрузок. На основании полученных результатов, было смоделировано модульное здание, с использованием рассмотренного узлового соединения и доказано прохождение действующих норм динамической комфортности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шнейдерман И. М., Гришанов В. И., Гузанова А. К., Ноздрин Н. Н. Проблемы ветхого и аварийного жилья в России // Народонаселение. 2019. Том 22. № 4. С. 18-35.
2. Сидоренко Е.С., Селезнева Ж.В. Реконструкция зданий и сооружений: основные направления и проблемы // Инновационная наука. 2023. №10-1. С. 30-32
3. Чепелева К.В., Смирнов Е.А. Внедрение модульных систем в практике жилищного строительства сибирского федерального округа // Экономика строительства. 2023. №4. С. 234-238
4. Багаутдинова Л.М. Специфика использования модульных блоков для возведения жилого фонда // Вестник науки. 2023. №6 (63). С. 449-453
5. Бибин А.С. Prefab-технологии в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2021. №10. С. 44-48.
6. Kotlyarskaya, I., Sinelnikov, A., Iakovlev, N., Vatin, N., Gravit, M. Structural and technological features of modular multi-storey buildings. A review. AlfaBuild. 2022. 23 Article No 2304.
7. Тарханова О.В., Аржиловская А.А.. Модульное строительство как перспектива развития инфраструктуры регионов России // Сборник трудов конференции, Тюменский Индустриальный университет. 2020. С. 607-610.
8. Огородников С.Н. Принципы планировочных решений модульных жилых объектов // Системные технологии. 2022. №1 (42). С. 232-239.
9. Gatheeshgar P, Poologanathan K, Gunalan S, Shyha I, Sherlock P, Rajanayagam H, Nagaratnam B. Development of affordable steel-framed modular buildings for emergency situations (Covid-19) // Structures. 2021. 31. P. 862–875.
10. Lacey, Andrew & Chen, Wensu & Hao, Hong & Bi, Kaiming. New interlocking inter-module connection for modular steel buildings: Experimental and numerical studies // Engineering Structures. 2019. 198.
11. Liew, Jat Yuen Richard & Chua, Yie & Dai, Ziquan. Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings // Structures. 2019. 21.
12. Широков Вячеслав Сергеевич. Конструктивные особенности модульных зданий // Вестник евразийской науки. 2022. Том 14. №3.
13. Sukhi V. Sendanayake, David P. Thambiratnam, Nimal Perera, Tommy Chan, Sanam Aghdamy. Seismic mitigation of steel modular building structures through innovative inter-modular connections // Heliyon. 2019. 5.
14. Deng E.-F., Zong L., Ding Y., Dai X.-M., Lou., Chen Y. Monotonic and cyclic response of bolted connections with welded cover plate for modular steel construction // Engineering Structures. 2018. V. 167. P. 407–419.
15. Рыбакова Ангелина Олеговна. Анализ особенностей проектирования на основе применения модульных элементов максимальной готовности // Строительство: наука и образование. 2021. №2. С. 65-77
16. Cisse, M., Kosterev, D.A., Vasileva, I.L., Nemova, D.V. Design of Modular Structures and Use of Prefabricated Sanitary Modules // A Review. 2021. 16(1). Article No 1602.
17. Курманова, Е.Е. Модульные здания: преимущества и недостатки / Е.Е. Курманова, В.Д. Таратута // Вестник науки. 2020. Т. 3. № 6. С. 158–160.
18. Liew, J.Y.R., Chua, Y.S., Dai, Z. Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings // Structures. 2019. 21. P. 135–149.
19. Tachkov, M.A., Shcherbatyuk, P.A., Kirik, E.S., Gravit, M.V., Kotlyarskaya (Vasileva), I.L. Design solutions for residential multi-storey steel modular building // Construction of Unique Buildings and Structures. 2022. 102(3). P. 50.
20. Navaratnam, S., Satheeskumar, A., Zhang, G., Nguyen, K., Venkatesan, S., Poologanathan, K. The challenges confronting the growth of sustainable prefabricated building construction in Australia: Construction industry views // Journal of Building Engineering. 2022. 48.
21. Abdelmageed, S., Zayed, T. A study of literature in modular integrated construction - Critical review and future directions // Journal of Cleaner Production. 2020. 277. Article No 124044.
22. Liu, W., Zhang, H., Wang, Q., Hua, T., Xue, H. A Review and Scientometric Analysis of Global Research on Prefabricated Buildings. Advances in Civil Engineering. 2021. V. 2021.
23. Kamali, M., Hewage, K., Sadiq, R. Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. Energy and Buildings. 2019. 204. Article No 109479.
24. Luo, Yu & Cheng, Dongwei & Yu, Hang. (2019). Reshaping Dormitory by Modular Steel Structure // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 690. Article No 012016.
25. Chua, Y.S., Pang, S.D., Liew, J.Y.R., Dai, Z. Robustness of inter-module connections and steel modular buildings under column loss scenarios. Journal of Building Engineering. 2022. 47. Article No 103888.
26. Lee, S.S., Park, K.S., Jung, J.S., Lee, K.S. Evaluation of the structural performance of a novel methodology for connecting modular units using straight and cross-shaped connector plates in modular buildings. Applied Sciences (Switzerland). 2020. 10(22). P. 1–18.

## REFERENCES

1. Shneiderman I.M., Grishanov V.I., Guzanova A.K., Nozdrina N.N. Problems of dilapidated and emergency housing in Russia // Narodonaselenie (Population). 2019. V. 22. No. 4. P. 18-35.
2. Sidorenko E.S., Selezneva Zh.V. Reconstruction of buildings and structures: main

- directions and problems // *Innovative science*. 2023. No. 10-1. P. 30-32
3. Chepeleva K.V., Smirnov E.A. Introduction of modular systems in the practice of housing construction in the Siberian Federal District // *Construction Economics*. 2023. No. 4. P. 234-238
  4. Bagautdinova L.M. Specifics of using modular blocks for the construction of housing stock // *Bulletin of Science*. 2023. No. 6 (63). P. 449-453
  5. Bibin A.S. Prefab technologies in construction // *Industrial and civil construction*. 2021. No. 10. P. 44-48.
  6. Kotlyarskaya, I., Sinelnikov, A., Iakovlev, N., Vatin, N., Gravit, M. Structural and technological features of modular multi-storey buildings. A review. *AlfaBuild*. 2022. 23 Article No 2304.
  7. Tarkhanova O.V., Arzhilovskaya A.A.. Modular construction as a prospect for the development of infrastructure in Russian regions // *Collection of conference proceedings, Tyumen Industrial University*. 2020. P. 607-610.
  8. Ogorodnikov S.N. Principles of planning solutions for modular residential facilities // *System technologies*. 2022. No. 1 (42). P. 232-239.
  9. Gatheeshgar P, Poologanathan K, Gunalan S, Shyha I, Sherlock P, Rajanayagam H, Nagaratnam B. Development of affordable steel-framed modular buildings for emergency situations (Covid-19) // *Structures*. 2021. 31. P. 862–875.
  10. Lacey, Andrew & Chen, Wensu & Hao, Hong & Bi, Kaiming. New interlocking inter-module connection for modular steel buildings: Experimental and numerical studies // *Engineering Structures*. 2019. 198.
  11. Liew, Jat Yuen Richard & Chua, Yie & Dai, Ziquan. Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings // *Structures*. 2019. 21.
  12. Shirokov Vyacheslav Sergeevich. Design features of modular buildings // *Bulletin of Eurasian Science*. 2022. V. 14. No. 3.
  13. Sukhi V. Sendanayake , David P. Thambiratnam, Nimal Perera, Tommy Chan, Sanam Aghdamy. Seismic mitigation of steel modular building structures through innovative inter-modular connections // *Heliyon*. 2019. 5.
  14. Deng E.-F., Zong L., Ding Y., Dai X.-M., Lou., Chen Y. Monotonic and cyclic response of bolted connections with welded cover plate for modular steel construction // *Engineering Structures*. 2018. V. 167. P. 407–419.
  15. Rybakova Angelina Olegovna. Analysis of design features based on the use of modular elements of maximum readiness // *Construction: science and education*. 2021. No. 2. P. 65-77
  16. Cisse, M., Kosterev, D.A., Vasileva, I.L., Nemova, D.V. Design of Modular Structures and Use of Prefabricated Sanitary Modules // *A Review*. 2021. 16(1). Article No 1602.
  17. Kurmanova, E.E. Modular buildings: advantages and disadvantages / E.E. Kurmanova, V.D. Taratuta // *Bulletin of Science*. 2020. Vol. 3. No. 6. P. 158–160.
  18. Liew, J.Y.R., Chua, Y.S., Dai, Z. Steel concrete composite systems for modular construction of high-rise buildings // *Structures*. 2019. 21. P. 135–149.
  19. Tachkov, M.A., Shcherbatyuk, P.A., Kirik, E.S., Gravit, M.V., Kotlyarskaya (Vasileva), I.L. Design solutions for residential multi-storey steel modular building // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2022. 102(3). P. 50.
  20. Navaratnam, S., Satheeskumar, A., Zhang, G., Nguyen, K., Venkatesan, S., Poologanathan, K. The challenges confronting the growth of sustainable prefabricated building construction in Australia: Construction industry views // *Journal of Building Engineering*. 2022. 48.
  21. Abdelmageed, S., Zayed, T. A study of literature in modular integrated construction - Critical review and future directions // *Journal of Cleaner Production*. 2020. 277. Article No 124044.
  22. Liu, W., Zhang, H., Wang, Q., Hua, T., Xue, H. A Review and Scientometric Analysis of Global Research on Prefabricated Buildings. *Advances in Civil Engineering*. 2021. V. 2021.
  23. Kamali, M., Hewage, K., Sadiq, R. Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. *Energy and Buildings*. 2019. 204. Article No 109479.
  24. Luo, Yu & Cheng, Dongwei & Yu, Hang. (2019). Reshaping Dormitory by Modular Steel Structure // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 690. Article No 012016.
  25. Chua, Y.S., Pang, S.D., Liew, J.Y.R., Dai, Z. Robustness of inter-module connections and steel modular buildings under column loss scenarios. *Journal of Building Engineering*. 2022. 47. Article No 103888.
  26. Lee, S.S., Park, K.S., Jung, J.S., Lee, K.S. Evaluation of the structural performance of a novel methodology for connecting modular units using straight and cross-shaped connector plates in modular buildings. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020. 10(22). P. 1–18

## NODAL SOLUTIONS IN STEEL MODULAR BUILDINGS FOR RESETTLEMENT FROM EMERGENCY AND DILAPIDATED HOUSING

Tsareva O.S., Kozodaeva V.S., Andreev V.M., Sviridenko D.A..

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)  
195251, St. Petersburg, Politekhnicheskaya st., 29  
e-mail: valeriia.kozodoy@mail.ru

**Abstract:** In Russia, there is an increasing concern about the need for relocation from old housing that does not meet modern standards of living and is considered to be in emergency or dilapidated condition. The share of such housing continues to grow every year, making it one of the most significant challenges of modern housing policies.

**The subject of the study.** The subject of the study is the nodal connection of metal modular structures, which ensures spatial rigidity and compliance with the requirements of standards for dynamic comfort. In the context of accelerated construction and the need to relocate citizens from emergency housing, modular buildings are becoming one of the most promising areas. However, structures based on a metal frame with malleable joints often do not meet the standards for vibration comfort, which requires the development of new technical solutions.

**Materials and methods.** The developed joint consists of two connecting plates 40 mm thick, welded to the columns, followed by bolting. To evaluate the efficiency of the node, three variants of finite element models were built: a plate model with bolts and welding, a simplified plate model without connection details, and a rod model using absolutely rigid bodies (AGT). All models were calculated in LIRA-CAD using three types of loads: frontal and side wind, as well as the load at the stairwell.

**Results.** Calculations have shown that when using a simplified model, the accuracy remains acceptable for a global assessment of load-bearing capacity. An inspection of the simulated 11-storey building confirmed that the standards for dynamic comfort had been met: acceleration on the last floor was 0.08 m/s<sup>2</sup>.

**Conclusions.** The proposed nodal connection provides the necessary rigidity without the use of a reinforced concrete core, which simplifies the construction of modular buildings and shortens the time of their construction, while maintaining compliance with current regulations. Additionally, the versatility of the design allows it to be adapted to various architectural and engineering solutions, providing design flexibility in conditions of mass housing construction.

**Key words:** emergency housing, modular structures, metal frame, nodal connections, modular construction, prefabrication.