

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ¹, В.С. СТРУЧКОВ²¹Национально исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СДВИГА И КРУЧЕНИЯ

Аннотация. Прочность и податливость соединений несущих конструкций в многоэтажных панельных зданиях определяется разными параметрами и значительно влияет на усилия и напряжения, возникающие в элементах таких конструктивных схем. Горизонтальное воздействие на конструктивную систему, состоящую из сборных стеновых панелей, при определенных условиях может привести к возникновению значительных крутящих моментов. Ключевыми условиями возникновения кручения, которые отмечаются в большинстве исследований по данной тематике, будут являться горизонтальная и вертикальная несимметричность здания и значительные горизонтальные нагрузки. В настоящей экспериментальной работе были испытаны фрагменты стеновых соединений в условиях действия сдвигающих и крутящих нагрузок. Фрагменты железобетонных панелей были соединены с использованием металлического стыкового соединения на сварке. В роли соединительного элемента выступала металлическая пластина. По результатам эксперимента получено напряженно-деформированное состояние натурных фрагментов панельных зданий. Установлен характер разрушения, максимальные сдвигающие и крутящие нагрузки. Построены диаграммы деформирования связи для всех испытываемых образцов.

Ключевые слова: Связи сдвига, панельные здания, податливость, кручение, несущая способность.

V.A. LYUBLINSKIY¹, V.S. STRUCHKOV²¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia

EXPERIMENTAL STUDY OF STRENGTH AND DEFORMABILITY WELDED JOINTS PANEL BUILDINGS UNDER CONDITIONS OF SHEAR AND TORSION

Abstract. The strength and compliance of the joints of load-bearing structures in multistorey panel buildings is determined by different parameters and significantly affects the forces and stresses that occur in the elements of such structural system. Horizontal action on a structural system consisting of prefabricated wall panels, under certain conditions, can lead to a situation where torsional mode will prevail. The key conditions for the occurrence of torsion, which are noted in most studies on this topic, will be the horizontal and vertical asymmetry of the building and significant horizontal loads. In this experimental work, fragments of wall joints were tested under the action of shear and torsional loads. The fragments of reinforced concrete panels were joined using a metal butt joint during welding. A metal plate acted as a connecting element. According to the results of the experiment, the stress-strain state of full-scale fragments of panel buildings was obtained. The nature of the destruction, maximum shear and torsional loads have been established. Joint deformation diagrams are constructed for all test samples.

Keywords: Shear connections, panel buildings, compliance, torsion, load capacity.

Введение

В современном строительстве форма здания в наибольшей степени продиктована архитектурной концепцией. Тенденция к строительству многоэтажных железобетонных несущих систем неправильной формы становится новой реальностью. Вместе с этим нарастает интерес исследователей к изучению подобных несимметричных структур. Наряду с другими вопросами проектирования многоэтажного здания, множество исследований выделяют проблему кручения [1-3].

Теоретические и экспериментальные исследования отдельных элементов несущей системы при сложном напряженно-деформированном состоянии, таком, как кручение с изгибом, были рассмотрены в научных публикациях [4-9].

В связях крупнопанельных зданий возникают растягивающие, сжимающие и касательные напряжения. Проблематика работы связей в крупнопанельном здании затрагивалась в работах [10-14]. Вертикальные и горизонтальные связи являются наиболее нагруженными элементами несущей системы многоэтажных зданий и выполняют роль регуляторов при перераспределении усилий, учитывая нелинейную работу железобетона [15]. Одним из часто используемых соединений стеновых панелей в существующих крупнопанельных зданиях является сварное соединение. В роли связующего элемента выступает металлическая пластина, которая соединяется с закладными деталями панелей при помощи сварных швов. Было проведено большое количество исследований вертикальных стыков панелей [16, 17], но экспериментальные данные о сварных соединениях представлены в недостаточном объеме. В работе [17] испытания сварных соединений проводились только на сдвиг. Было проанализировано напряженно-деформированное состояние связей при сдвиге и получена зависимость деформации сварных соединений от приложенной нагрузки.

В асимметричных в плане зданиях под действием горизонтальной нагрузки возникает кручение. Сейсмическое воздействие является наиболее интенсивным и сложным, но некоторые аспекты кручения также применимы, когда на высотные здания воздействует ветровая нагрузка. Основными причинами кручения являются появление эксцентриситета между центром жесткости и центром масс, появление эксцентриситета в распределении прочности и деформируемости в плане здания под действием высокого уровня напряжений и многое другое. Исследования кручения зданий, связанные с действием сейсмической нагрузки представлены в работах [18-20]. В статьях [21, 22] приведены некоторые научные исследования кручения зданий под действием горизонтальных нагрузок. Кручение сборных железобетонных зданий является критическим фактором, который может привести к разрушению отдельных элементов или даже всей конструкции в целом. Из-за отсутствия симметрии между центрами жесткости и массы в краевых элементах зданий возникают значительные крутящие моменты [23-25]. В таких условиях вертикальные стыки в панелях испытывают сложное напряженно-деформированное состояние. При значительных сейсмических нагрузках, а также при прогрессирующем разрушении связи сдвига могут перейти в пластическую стадию работы [26, 27].

В экспериментальном исследовании [28] рассматривалась железобетонная конструкция, состоящая из четырех колонн, закрепленных в фундаменте, объединенных монолитным диском перекрытия. Конструкция подвергалась динамическим нагрузкам вплоть до разрушения. Несмотря на то, что конструкция была симметричной, наблюдалась реакция на кручение. Это связано с разными значениями нагрузки на элементы конструкции. Поскольку в статье рассматривался небольшой эксцентриситет, было отмечено, что при низких уровнях горизонтальной нагрузки, конструкция будет сохранять эксплуатационные свойства.

Несовпадение центра кручения и плоскости действия внешнего момента приводит к образованию угла поворота перекрытий в плане и появлению дополнительных усилий и перемещений. Полный момент, который может воспринять конструкция, может быть определен по выражению [29]:

$$M_{\text{полн.}} = M_{\text{пост.}} + M_{\text{пов.}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{пост.}}$ – момент от поступательного смещения;

$M_{\text{пов.}}$ – момент от поворота здания;

Цель работы заключалась в исследовании влияния эффекта кручения на прочность и деформируемость фрагмента стыкового соединения панельных зданий. Предполагалось получить напряженно-деформируемое состояние соединения, которое даст данные для оценки прочности и жесткости сварных соединений в многоэтажных панельных несущих системах, подверженных ветровым и сейсмическим нагрузкам.

Модели и методы исследования

В данной работе было проведено экспериментальное исследование натурального соединения внутренних стеновых панелей при помощи вертикальных связей на сдвиг и крутящий момент. Образцы представляли собой две панели толщиной 180мм, которые соединены между собой металлической пластиной, размерами 8x100x140мм, на сварке. Пластина приваривалась к закладным деталям, установленным в каждой панели.

Общая высота образца составила 550мм. Прочность бетона на сжатие через 28 суток со дня изготовления 25,68 МПа. Среднее значение предела текучести металла по трем выборкам 323 МПа. Среднее значение временного сопротивления металла 445 МПа. Данные получены от завода изготовителя. Аксонометрическая схема испытуемого образца см. рисунок 1.

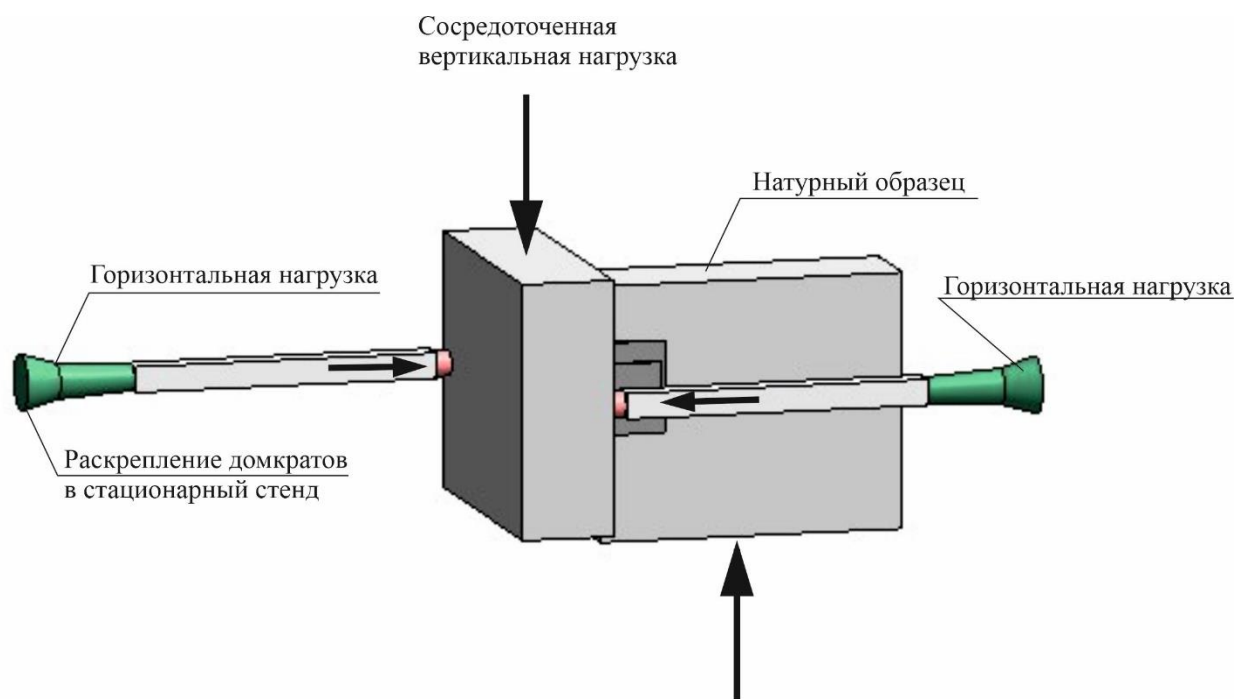


Рисунок 1 – Аксонометрическая схема испытаний

Для измерения относительных деформаций на образец были установлены тензометрические датчики. При испытаниях в работе были задействованы 32 датчика, которые располагались вертикально и горизонтально. Датчики с базой 5мм устанавливались на металл, на бетон были установлены датчики с базой 60мм. Для фиксации перемещений одной панели относительно другой были использованы четыре линейных тензометрических датчика перемещений. Датчики были установлены по обоим сторонам от нагружаемой панели. Два датчика регистрировали вертикальное перемещение левой панели, а два других датчика – поворот панели от действия крутящего момента.

Сдвиг левой панели относительно правой выполнялся при помощи гидравлического поршня. Нагрузка, создаваемая поршнем, фиксировалась силоизмерителем модификации М70-10-С3. Равномерное распределение нагрузки по площади панели обеспечивалось при помощи металлических пластин. Крутящий момент создавался механическими домкратами, которые упирались в раму. Нагрузка от кручения контролировалась вручную. Было выполнено пошаговое нагружение образцов с выдержкой под нагрузкой после каждого шага 5 минут. Предварительно предполагалось выполнить десять этапов приложения нагрузки. Каждый этап нагрузка увеличивалась на 10кН.

Для возможности сравнения влияния крутящего момента на работу вертикальных связей сдвига была выполнена следующая последовательность испытания образцов; Первые два образца были испытаны только на сдвиг (образцы S-1, S-2), следующие два образца были испытаны на сдвиг и крутящий момент (образцы S-3, S-4), причем крутящий момент создавался с первого шага нагружения. Последние два образца так же были испытаны на сдвиг и крутящий момент, но кручение создавалось начиная с шестого шага (образцы S-5, S-6). Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид установки при испытаниях на сдвиг с кручением

Результаты исследования и их анализ

По результатам экспериментальных исследований были получены напряженно-деформированное состояние вертикальных сдвиговых соединений под воздействием сдвига и крутящего момента, диаграмма "сдвиг-перемещение", выявлены особенности поведения стыкового соединения при крутящем воздействии. Величина разрушающей нагрузки определяется для случаев, когда воздействует только сдвиг и когда добавляется кручение.

Одинаковая картина разрушения наблюдалась у пяти испытанных образцов. При испытаниях на сдвиг на восьмой стадии приложения нагрузки в правой панели образовывалась наклонная трещина. Трещина развивалась от середины закладной детали к верху панели. Аналогичные единичные трещины возникали в поперечных сечениях железобетонных конструкций при испытаниях на действие изгиба и кручения в работах [30, 31]. По данным [1] это связано с большими изгибающими моментами, при которых сжатая зона бетона в поперечном сечении элемента сильно уменьшается и касательные напряжения от крутящего момента перераспределяются на меньшую площадь.

Для образцов S-1, S-2 максимальная вертикальная нагрузка составила 87,1 кН, далее происходит лавинообразное растрескивание бетона сверху и снизу закладных деталей, после чего образец не может воспринимать нагрузку. Анализ данных, полученных с тензометрических датчиков, показал, что металл пластин работал в пластической стадии. Соединительные пластины не получили видимых разрывов. В стадии разрушения произошел отрыв верхнего горизонтального сварного шва. Повреждения образцов после испытаний см. рисунок 3.



Рисунок 3 – Повреждения образцов при испытаниях на сдвиг

При испытаниях образцов S-3 и S-4 на сдвиг с кручением, также образовалась трещина аналогичного характера, но уже на пятом этапе нагружения. На шестом этапе приложения нагрузки, в этой серии образцов, происходит растрескивание бетона панели по аналогичному с образцами S-1, S-2 сценарию.

При испытании последней пары образцов S-5 и S-6 была получена иная картина разрушения для S-6. Характер разрушения образца S-5 такой же, как и у предыдущих, но в образце S-6 не наблюдалось развития наклонной трещины от закладной детали. На девятом этапе нагружения произошел отрыв закладной детали в панели, к которой прикладывались сдвигающее и крутящее усилия. При этом максимальное усилие сдвига составило 87,9 кН, а максимальный крутящий момент - 10,4 кНм.

Основываясь на данных с линейных датчиков перемещений и силоизмерителей, были построены диаграммы «сдвиг-перемещение» для всех шести испытываемых образцов. Можно отметить, что образцы, в которых присутствовал крутящий момент, имеют уменьшенную стадию пластической деформации, в отличие от образцов, испытанных только при сдвиге (см. рисунок 4). Разрушение происходит внезапно. Это следует учитывать при строительстве зданий в сейсмоопасных районах, которые наиболее подвержены горизонтальному воздействию во время землетрясения.

В соответствии с полученными диаграммами "сдвиг-перемещение" были построены линии тренда и предложено математическое описание функции (см. таблицу 1).

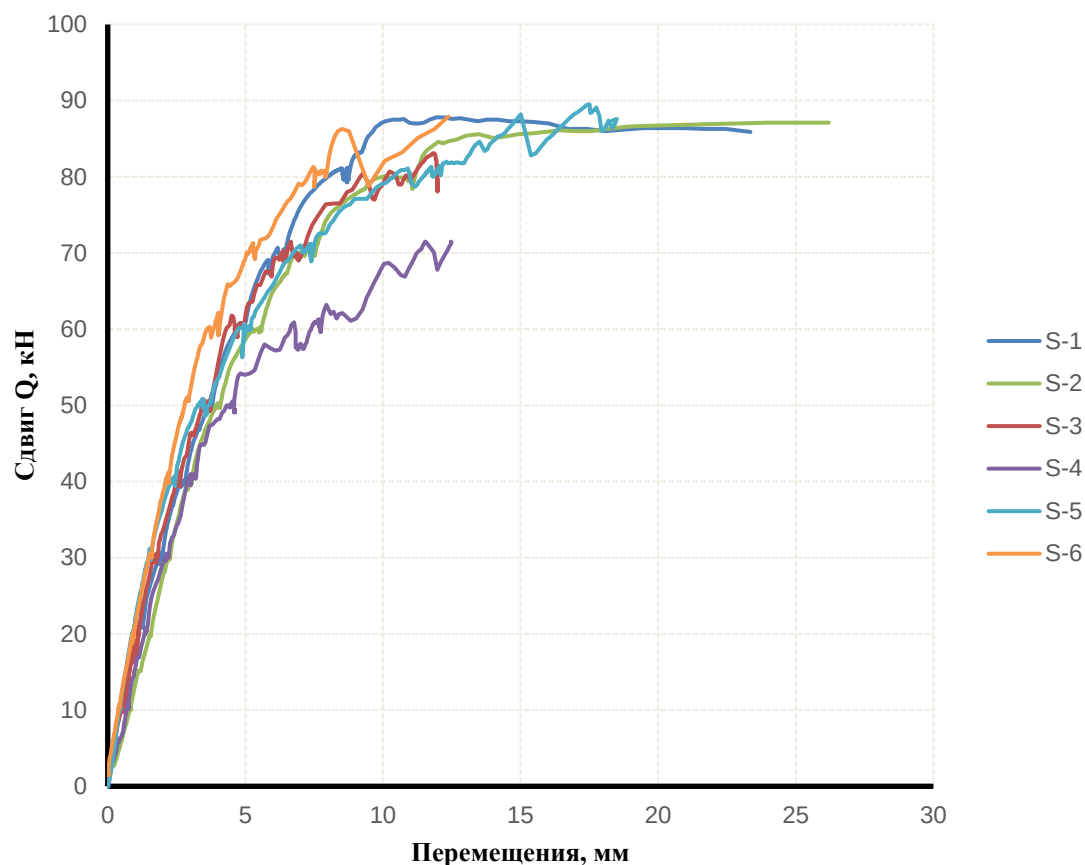


Рисунок 4 – Диаграмма "сдвиг-перемещение"

Таблица 1 – Описание кривых "сдвиг-перемещение" с использованием функции

№ Образца	Аппроксимирующее уравнение для пары
S-1	$Q = -0,46\Delta^2 + 12,45\Delta + 5,8$
S-2	
S-3	$Q = -0,75\Delta^2 + 14,5\Delta + 3,2$
S-4	
S-5	$Q = -0,45\Delta^2 + 11,62\Delta + 10,6$
S-6	

В рамках анализа экспериментальных данных проведено сравнение показаний тензодатчиков для всех шести образцов. При сравнении результатов был осуществлен переход от относительных деформаций к напряжениям. В качестве примера приведены данные по датчику № 13. Датчик располагался вертикально на правой соединительной пластине, на участке между двумя панелями. Такое расположение датчика было обусловлено тем фактом, что, согласно результатам предыдущих натурных экспериментов, в этом месте предполагалось разрушение металла [13]. Результаты наших экспериментальных исследований этого сварного соединения показали, что характер разрушения отличается от предыдущих испытаний. Для всех образцов отмечается работа металла соединительной пластины в упругопластической и пластической стадиях. Диаграмма зависимости напряжений в пластине от сдвигающей нагрузки представлена на рисунке 5.

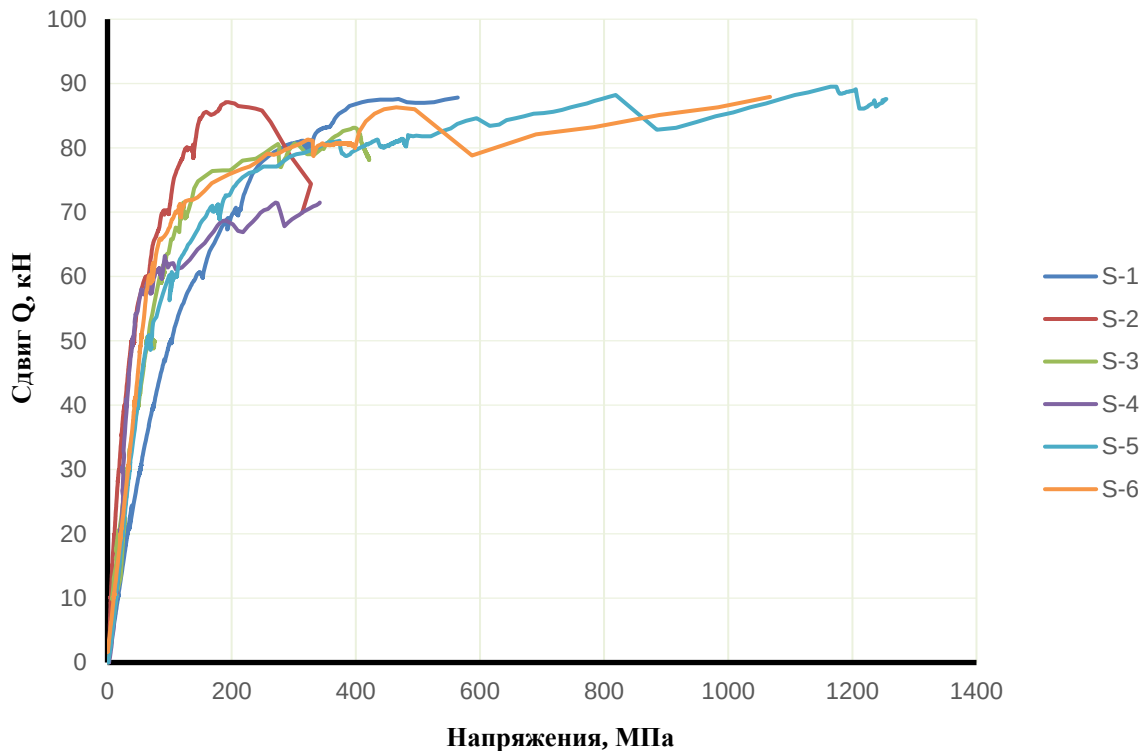


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости напряжений от сдвигающей нагрузки

Выводы

Целью данного экспериментального исследования было изучение поведения сварного соединения с учетом сдвигающих усилий и крутящего момента. Нагружение до предела несущей способности всех образцов осуществлялось усилием сдвига.

Диаграммы деформирования исследованного соединения при различных режимах нагружения оставались примерно одинаковыми. При кручении участок пластических деформаций уменьшался. Несущая способность стыкового соединения снизилась.

Разрушение фрагмента соединения панельного здания под совместным действием сдвига и кручения начиналось на 5-м этапе нагружения. Максимальная вертикальная нагрузка при испытаниях образцов S-3 и S-4 составила 60,0 кН. При испытаниях только на сдвиг, разрушение начиналось позже, на этапе 8. Максимальная нагрузка при испытаниях образцов S-1 и S-2 на сдвиг составила 87,1 кН. При более ранних экспериментальных испытаниях аналогичных конструкций соединений, было зафиксировано разрушение металла. В рассматриваемых образцах разрушился бетон панелей.

Разрушение сварных соединений происходило комплексно – металлическая структура соединения деформируется, а в бетоне при нагружении возникала сеть мелких трещин с появлением при разрушении одной основной. Из-за направления крутящего момента эта трещина, в испытанных фрагментах, появлялась всегда с левой, растягивающейся от кручения, стороны панели.

Полученные экспериментальные данные о прочности и деформируемости сварных соединений могут быть использованы в решении задач методом конечных элементов для определения напряженно-деформированного состояния элементов несущего каркаса панельного асимметричного многоэтажного здания с учетом изменения податливости, уменьшенной зоны пластических деформаций и возможного хрупкого разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Munteanu R. I. et al. A new perspective into torsional inelastic response of actively controlled irregular multistorey buildings // *Alexandria Engineering Journal*. 2023. Vol. 71. Pp. 691-706.
2. Gu A. et al. Torsional Response of a Two-Storey Low-Damage Concrete Wall Test Building // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2025.
3. Rawat D., Mishra N. B. Seismic Torsion Behaviour and Rigidity Analysis of Multistorey Plan Asymmetric RC Building // *Advances in Geotechnics and Structural Engineering: Select Proceedings of TRACE 2020*. 2021. Pp. 501-518.
4. Колчунов В.И., Демьянов А. И., Протченко М.В. Моменты в железобетонных конструкциях при изгибе с кручением // *Строительство и реконструкция*. 2021. №3. С. 27-46.
5. Карпенко Н., Колчунов Вл., Колчунов В., Травуш В. Расчетная модель сложноподвинутого железобетонного элемента при кручении с изгибом // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. №17 (1). С. 34–47.
6. Колчунов В. И., Демьянов А. И., Печенев И. В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного сечения при кручении с изгибом // *Строительство и реконструкция*. 2020. №5. С. 3-12.
7. Колчунов Вл. И., Федоров В.С. Понятная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. №8. С. 16–23.
8. Демьянов А.И., Сальников А.С., Колчунов Вл. И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом и анализ их результатов // *Строительство и реконструкция*. 2017. №4 (72). С. 17–26.
9. Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Колчунов Вл. И., Травуш В.И., Демьянов А.И. Деформирование железобетонных конструкций при изгибе с кручением // *Строительные материалы*. 2021. №6. С. 47-56.
10. Тамразян А. Г., Дехтерев Д. С., Черник В. И. Расчет параметров надежности стыковых соединений сборных железобетонных конструкций с использованием метода конечных элементов // *Инновации и инвестиции*. 2020. №7. С. 148-152.
11. Малахова А. Н., Маринина Д. А. Податливость вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 6. С. 10-18.
12. Shuvalov A. et al. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings // *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences. 2018. Vol. 196. Pp. 02049. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819602049>
13. Люблинский В. А., Томина М. В. Экспериментальное исследование прочности и податливости вертикального сварного стыка // *Системы. Методы. Технологии*. 2018. № 3. С. 154-158.
14. Lyubinskiy V., Struchkov V. Resistance of Vertical Joints During Torsion of Multistorey Buildings // *Proceedings of FORM 2022*. LNCE, Springer. 2023. Vol. 282. Pp. 407-415.
15. Люблинский В. А. К вопросу о перераспределении напряжений в вертикальных несущих железобетонных конструкциях многоэтажных зданий // *Строительство и реконструкция*. 2021. №. 2. С. 39-45.
16. Shen S. D. et al. Test and analysis of reinforced concrete (RC) precast shear wall assembled using steel shear key (SSK) // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2019. Vol. 48. №. 14. Pp. 1595-1612.
17. Karyakin A. A., Derbentsev I. S., Tarasov M. V. Experimental and numerical research on tensile performance of inter-panel fastener joints of large-panel buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2017. T. 262. №. 1. Pp. 012046.
18. Yang J. et al. Seismic behaviors of prefabricated reinforced concrete shear walls assembled with a cast-in-place vertical joint // *Buildings*. 2023. Vol. 13. Pp. 3013.
19. Sritharan S. et al. Precast concrete wall with end columns (PreWEC) for earthquake resistant design // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2015. Vol. 44. Pp. 2075-2092.
20. Singhal S. et al. Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review // *Structural Concrete*. 2019. Vol. 20. №3. Pp. 886-898.
21. De Stefano M., Pintucchi B. A review of research on seismic behaviour of irregular building structures since 2002 // *Bulletin of earthquake Engineering*. 2008. Vol. 6. Pp. 285-308.
22. Naresh kumar B. G., Punith N., Bhayrav R.B., Arpitha T. P. Assessment of Location of Centre of Mass and Centre of Rigidity for Different Setback Buildings // *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2017. Vol. 6. Issue 5. Pp. 801-804.
23. Botis M. F., Cerbu C. A method for reducing of the overall torsion for reinforced concrete multi-storey irregular structures // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. №. 16. Pp. 5555.
24. Khaliwada P., Lumantarna E. Simplified Method of Determining Torsional Stability of the Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings // *Civil Eng*. 2021. Vol. 2. №. 2. Pp. 290-308.
25. Lim H., Kang J. W., Pak H., Chi H., Lee Y. and Kim J. Seismic response of a three-dimensional asymmetric multi-storey reinforced concrete structure // *Applied Sciences*. 2018. Vol. 8. №. 4. Pp. 479.

26. Shuvalov A., Gorbunov I., Kovalev M., Faizova A. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Vol. 196. Pp. 02049.
27. Sharma J., Singh A., Sehgal R. Torsional Reduction Techniques in High Rise Structures // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2015. Vol. 3. Issue 10.
28. Benavent-Climent A., Morillas L., Escolano-Margarit D. Inelastic torsional seismic response of nominally symmetric reinforced concrete frame structures: Shaking table tests // Engineering structures. 2014. Vol. 80. Pp. 109-117.
29. Дроздов П. Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов // М.: Стройиздат., 1977. С. 3-20.
30. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл. И., Каприелов С.С., Демьянов А. И., Конорев А.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. №6. С. 32-43.
31. Булкин С.А. Кручение с изгибом сталефиброжелезобетонной балки прямоугольного сечения // Строительство и реконструкция. 2021. № 2. С. 3-13.

REFERENCES

1. Munteanu R. I. et al. A new perspective into torsional inelastic response of actively controlled irregular multistorey buildings // Alexandria Engineering Journal. 2023. Vol. 71. Pp. 691-706.
2. Gu A. et al. Torsional Response of a Two-Storey Low-Damage Concrete Wall Test Building // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2025.
3. Rawat D., Mishra N. B. Seismic Torsion Behaviour and Rigidity Analysis of Multistorey Plan Asymmetric RC Building // Advances in Geotechnics and Structural Engineering: Select Proceedings of TRACE 2020. 2021. Pp. 501-518.
4. Kolchunov Vl. I., Demyanov A. I., Protchenko M. V. Moments in reinforced concrete structures under bending with torsion // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. No. 3. S. 27-46.
5. Karpenko N. I., Kolchunov Vl. I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation Model of a Complex Stress Reinforced Concrete Element During Torsion with Bending // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. No. 17 (1). S. 34-47.
6. Kolchunov Vl. I., Demyanov A. I., Pechenev I. V. Results of experimental studies of reinforced concrete structures with square cross sections in torsion with bending // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2020. No. 5. S. 3-12.
7. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual hierarchy of models in the theory of resistance of building structures // Industrial and civil engineering. 2020. No. 8. S. 16-23.
8. Demyanov A.I., Salnikov A.S., Kolchunov V.I. Experimental studies of reinforced concrete structures in torsion with bending and analysis of their results // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2017. No. 4 (72). S. 17-26.
9. Karpenko N. I., Kolchunov Vl. I., Kolchunov V.I., Travush V.I., Demyanov A. I. Deformation of reinforced concrete structures during bending with torsion // Building materials. 2021. No. 6. S. 47-56.
10. Tamrazyan A. G., Dekhterev D. S., Chernik V. I., Calculation of reliability parameters of butt joints of precast reinforced concrete structures using the finite element method // Innovations and Investments. 2020. No. 7. S. 148-152.
11. Malakhova A. N., Marinina D. A. The compliance of vertical joints of large-panel buildings made on embedded parts // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. No. 6. S. 10-18.
12. Shuvalov A. et al. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences. 2018. Vol. 196. Pp. 02049. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819602049>
13. Lyublinskiy V.A., Tomina M.V. Experimental study of the strength and suppleness of a vertical welded joint // Syst. Meth. Techn. 2018. Vol. 3(39), Pp. 154-158.
14. Lyublinskiy V., Struchkov V. Resistance of Vertical Joints During Torsion of Multistorey Buildings // Proceedings of FORM 2022. LNCE, Springer. 2023. Vol. 282. Pp. 407-415.
15. Lyublinskiy V. A. To the question of redistribution of stress in vertical bearing RC structures multi-storey buildings // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. №. 2. Pp. 39-45.
16. Shen S. D. et al. Test and analysis of reinforced concrete (RC) precast shear wall assembled using steel shear key (SSK) // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2019. Vol. 48. №. 14. Pp. 1595-1612.
17. Karyakin A. A., Derbentsev I. S., Tarasov M. V. Experimental and numerical research on tensile performance of inter-panel fastener joints of large-panel buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. T. 262. №. 1. Pp. 012046.
18. Yang J. et al. Seismic behaviors of prefabricated reinforced concrete shear walls assembled with a cast-in-place vertical joint // Buildings. 2023. Vol. 13. Pp. 3013.

19. Sritharan S. et al. Precast concrete wall with end columns (PreWEC) for earthquake resistant design //Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2015. Vol. 44. Pp. 2075-2092.
20. Singhal S. et al. Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review //Structural Concrete. 2019. Vol. 20. №3. Pp. 886-898.
21. De Stefano M., Pintucchi B. A review of research on seismic behaviour of irregular building structures since 2002 //Bulletin of earthquake Engineering. 2008. Vol. 6. Pp. 285-308.
22. Naresh kumar B. G., Punith N., Bhyrav R.B., Arpitha T. P. Assessment of Location of Centre of Mass and Centre of Rigidity for Different Setback Buildings // International Journal of Engineering Research & Technology. 2017. Vol. 6. Issue 5. Pp. 801-804.
23. Botis M. F., Cerbu C. A method for reducing of the overall torsion for reinforced concrete multi-storey irregular structures //Applied Sciences. 2020. Vol. 10. №. 16. Pp. 5555.
24. Khatiwada P., Lumantarna E. Simplified Method of Determining Torsional Stability of the Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings // CivilEng. 2021. Vol. 2. №. 2. Pp. 290-308.
25. Lim H., Kang J. W., Pak H., Chi H., Lee Y. and Kim J. Seismic response of a three-dimensional asymmetric multi-storey reinforced concrete structure //Applied Sciences. 2018. Vol. 8. №. 4. Pp. 479.
26. Shuvalov A., Gorbunov I., Kovalev M., Faizova A. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Vol. 196. Pp. 02049.
27. Sharma J., Singh A., Sehgal R. Torsional Reduction Techniques in High Rise Structures // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2015. Vol. 3. Issue 10.
28. Benavent-Climent A., Morillas L., Escolano-Margarit D. Inelastic torsional seismic response of nominally symmetric reinforced concrete frame structures: Shaking table tests // Engineering structures. 2014. Vol. 80. Pp. 109-117.
29. Drozdov P. F. Design and calculation of load-bearing systems of multi-storey buildings and their elements // Moscow: Stroyizdat., 1977. S. 3-20.
30. Travush V.I., Karpenko N. I., Kolchunov V.I., Kaprielov S. S., Demyanov A. I., Konorev A. V. The results of experimental studies of structures square and box sections in torsion with bending // Building and Reconstruction. 2018. Vol. 6. Pp. 32-43
31. Bulkin S.A., Torsion with bending of rectangular steel fiber reinforced concrete beam // Building and Reconstruction. 2021. Vol. 2. Pp. 3-13

Информация об авторах

Люблинский Валерий Аркадьевич

Национально исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: LyublinskiyVA@mgsu.ru

Стручков Владислав Сергеевич

Национально исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: struchkov2018@gmail.com

Information about authors

Lyublinskiy Valery A.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, candidate of technical science, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: LyublinskiyVA@mgsu.ru

Struchkov Vladislav S.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, postgraduate of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: struchkov2018@gmail.co