

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ¹, В.С. СТРУЧКОВ¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ПРОЧНОСТЬ И ПОДАТЛИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЫКОВ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ СДВИГЕ И КРУЧЕНИИ

Аннотация. При действии горизонтальной ветровой и сейсмической нагрузки в несимметричных несущих системах многоэтажных зданий возникает кручение. Причина кручения заключается в появлении эксцентриситета приложения горизонтальной нагрузки между центром масс и центром жесткостей. Вертикальные несущие элементы панельных зданий соединяются в пространственную систему различными связями сдвига. Податливость плотных сварных связей в нелинейной постановке базируется на экспериментальных данных на действие сдвигающих усилий. Принимая во внимание, что податливость зависит не только от сдвигающего воздействия, но и является функцией высоты здания, необходима полная диаграмма деформирования рассматриваемой плотной связи. Влияние крутящего воздействия на податливость плотных связей ранее не рассматривалось.

В данной работе представлена конечно-элементная модель, реализованная в программном комплексе ANSYS фрагмента панельного здания. Фрагмент здания определяется из условия проведения дальнейших экспериментальных исследований по прочности и деформативности сварного стыка, соединяющего две вертикальные несущие конструкции. Численным моделированием определено напряженно-деформированное состояние вертикального плотного стыка панельных зданий при действии сдвига и кручения. Шаговое нагружение исследуемого образца велось в вертикальной и горизонтальной плоскости. История нагружения принята в первом приближении самая простая - пропорциональная. Определена несущая способность и деформативность стыка при действии сдвига и кручения. Получены диаграммы деформирования плотного стыка. Определена предельная нагрузка, при которой соединение превращается в шарнир. Крутящее воздействие приводит к увеличению податливости плотной связи. Результаты проведенного анализа могут быть использованы при диаграммном методе расчета железобетонных конструкций панельных зданий подверженных кручению.

Ключевые слова: панельные здания, кручение, центр жесткостей, центр масс, несущая способность.

V.A. LYUBLINSKIY¹, V.S. STRUCHKOV¹¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia

STRENGTH AND FLEXIBILITY OF VERTICAL JOINTS OF PANEL BUILDINGS IN SHEAR AND TORSION

Abstract. Under the action of horizontal wind and seismic loads, torsion occurs in asymmetric load-bearing systems of multi-storey buildings. The reason for torsion is the appearance of an eccentricity between the center of mass and the center of rigidity of the application of a horizontal load. Vertical load-bearing elements of panel buildings are connected into a spatial system by various shear bonds. The deformability of welded butt joints in a nonlinear formulation is based on experimental data on the action of shear forces. Considering that the deformability of a shear connection depends not only on the shear force, but is also a function of all forces and stresses along the height of a multi-story building, a complete deformation diagram of the shear connections under consideration is necessary. The influence of torsional action on the deformability of shear bonds has not been previously considered.

This paper presents a finite element model realized in the ANSYS software package of a fragment of a panel building. The building fragment was determined under the condition of further experimental studies on the strength and deformability of the welded joint connecting two vertical load-bearing structures.

Numerical simulation determined the stress-strain state of a vertical dense joint of panel buildings under the action of shear and torsion. Step loading of the investigated fragment was carried out in the vertical and horizontal plane. The loading history adopted in the first approximation is the simplest – proportional. The bearing capacity and deformability of the joint under the action of shear and torsion are determined. Diagrams of the deformation of a dense joint are obtained. The ultimate load at which the joint becomes a hinge is determined. The torsional effect leads to an increase in the deformability of the dense bond. The results of the analysis can be used in the diagrammatic method of calculation of reinforced concrete structures of panel buildings subject to torsion.

Keywords: panel buildings, torsion, center of stiffness, center of mass, load capacity.

Введение

Несущие системы многоэтажных зданий в силу архитектурных и конструктивных особенностей могут проектироваться с несимметричным расположением вертикальных железобетонных конструкций. Горизонтальная ветровая и сейсмическая нагрузка приводят к возникновению кручения зданий. Горизонтальная нагрузка приложена к центру масс, а несущая система поворачивается относительно центра жесткостей [1-5]. Чем больше расстояние между центром масс и центром жесткостей, тем большее дополнительное усилие возникает в элементах жесткости вследствие поворота несущей системы. Для увеличения изгибной жесткости здания целесообразно элементы жесткости размещать максимально удаленно от центра здания, но именно в этих элементах возникают максимальные дополнительные усилия. Величину крутящего момента примерно можно определить по зависимости [2]:

$$F_{eq}^x e_x + F_{eq}^y e_y$$

где F_{eq}^x, F_{eq}^y горизонтальная сейсмическая нагрузка по осям x и y , e_x, e_y – расстояние между центром масс и центром жесткостей по осям x и y .

Разработанные к настоящему времени нормативные документы ряда стран [6-9] содержат положения по ограничению появления кручения в несущих системах зданий. Так нормы Турции и ряда других стран ограничивают для любого ортогонального направления X или Y отношение максимального перемещения одного этажа здания к среднему значению перемещения величиной 1,2 [6]. При превышении этого значения предлагается провести перепроектирование объекта. Нормы ЕС [7] ограничивают эксцентриситет и радиус кручения, случайный эксцентриситет принимается равным 0,05 от максимального размера здания в плане, ограничивается общая гибкость здания. В КМК 2.01.03-19 [8] предлагается определять крутящий момент в зависимости от сдвигающих усилий в рассматриваемом уровне по высоте здания, расстояния между центром масс и центром жесткости здания. В отечественных нормах [9] при использовании консольной расчетной модели величина эксцентриситета между центром масс и центром жесткостей принимается равной не менее 0,1 размера здания в плане перпендикулярного действию сейсмической нагрузки. Устанавливается требование к первой и второй формам колебаний. Они также не должны быть крутильными. По сути, эффект закручивания здания ограничивается двумя способами – желательным распределением несущих конструкций в плане, уменьшающим эксцентриситет приложения горизонтальной нагрузки и ограничение периодов собственных колебаний при кручении, придание конструкции необходимых крутящих жесткостей. Значительное количество публикаций посвящено изучению жесткости зданий, влиянию проемов, оценке влияния кручения на несущие системы зданий и их элементов [10-14]. Горизонтальная нагрузка может привести близости крутильных колебаний к низшим формам колебаний. Появляются дополнительные инерционные силы. Динамическое воздействие ветра или сейсмике может создать дополнительные напряжения в несущих конструкциях здания [15, 16] и к перенапряжению торцевых периферийных элементов несущей системы. Для многих асимметричных конструкций чрезмерное кручение является основной причиной низкой сейсмостойкости. Снижение появляющегося кручения возможно за счет эффективной работы ядер жесткости в составе лестнично-лифтовых узлов, которые тоже часто располагаются асимметрично.

Пороговые значения ограничений приведенные выше требуют дополнительных подтверждающих исследований, видимо целесообразно учесть предложения [17]. Обычно используется линейно-упругий анализ при оценке крутящего воздействия. Но в железобетонных конструкциях при больших деформациях возникают пространственные трещины, изменяется жесткость и увеличивается крутящий момент. Создание модели прочности и деформируемости железобетонных конструкций под действием крутящих моментов далеко не завершено. В железобетонных конструкциях при изгибе и сжатии в поперечных сечениях конструкций может возникнуть крутящий момент, приводящий к сложному напряженно-деформированному состоянию [18, 19], которое при сейсмическом воздействии сопоставим с условиями приведенными в [20, 21]. В этих работах предложена расчетная модель комплексного сопротивления железобетонных конструкций зданий и сооружений при кручении с изгибом. Эти предложения могут быть в дальнейшем использованы в инженерной практике.

Следует заметить, что при кручении ядро-диафрагменных систем возникает депланация поперечного сечения конструкций [1], которая очевидно влияет на трещиностойкость, а далее жесткость вертикальных конструкций. Стены панельных зданий, пилоны, диафрагмы жесткости, ядра жесткости сопротивляются изгибу со стесненным кручением и соединены в пространстве связями сдвига. Связи сдвига, создающие пространственную несущую систему, работают не только в условиях некоторого одноосного напряженного состояния [22, 23], но и подвергаются дополнительному воздействию в виде кручения. В панельных зданиях увеличивается роль связей сдвига между несущими вертикальными конструкциями. Точечное значение податливости или применение диаграмм деформирования связей сдвига отражают только работу конструкций в вертикальной плоскости. Открытым остается вопрос пространственного деформирования связей при наличии кручения сдвига и кручения.

В данной работе численным моделированием была рассмотрена задача определения напряженно-деформированного состояния плотного вертикального стыка панельного здания подверженного сдвигу и кручению. В качестве объекта исследования использовалась реальная несущая конструкция стыка двух перпендикулярных панельных стен.

Модели и методы

Предполагалось рассмотреть наиболее простое плоское стыковое соединение на воздействие вертикальных усилий сдвига и горизонтального кручения для оценки податливости сдвиговых связей панельных зданий аналогично плоским образцам [24, 25]. Однако вопросы закрепления стыка в ходе экспериментальных испытаний, устойчивости испытательного образца и возможности приложения нагрузок одновременно в двух плоскостях определили пространственный вариант сопряжения панельных стен.

Выбран фрагмент крупнопанельного здания, состоящий из пересечения стен, соединенных сварными швами. В качестве связевого элемента между панелями использовалась плоская соединительная пластина. Общая высота образца составляет 55 сантиметров. Образец нагружался собственным весом, планируемой вертикальной сдвигающей нагрузкой 75 кН и двумя противоположно направленными горизонтальными силами по 5 кН вдоль оси X, имитируя эффект кручения от горизонтальной нагрузки на здание. Размер конечного элемента принимался равным 10 мм. Ввиду несколько сложной геометрии бетонных панелей и крепления закладных деталей, произведена разбивка стеновых панелей конечными элементами «тетраэдор». Металлические пластины закладной соединительной детали моделировались элементами «гексаэдор».

Для нелинейного расчета образца использовалась универсальная программная система анализа ANSYS MECHANICAL. Закладные детали замоделированы вместе со сварными швами. Испытываемый образец моделировался объемными конечными элементами типа SOLID186. Общий вид расчетной модели, а также конечно-элементная сетка представлены на рисунках 1 и 2.

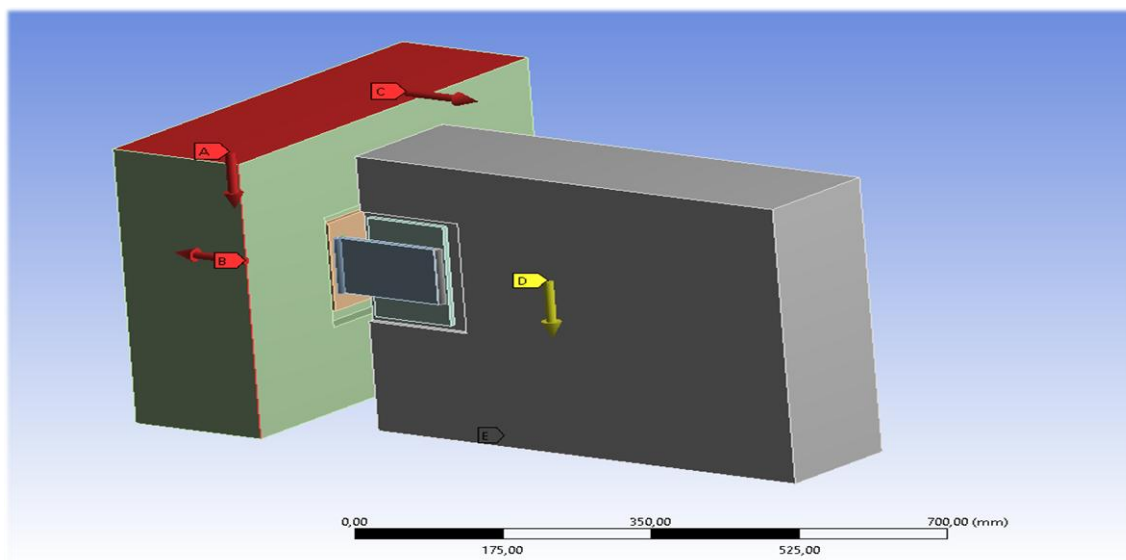


Рисунок 1 - Общий вид модели

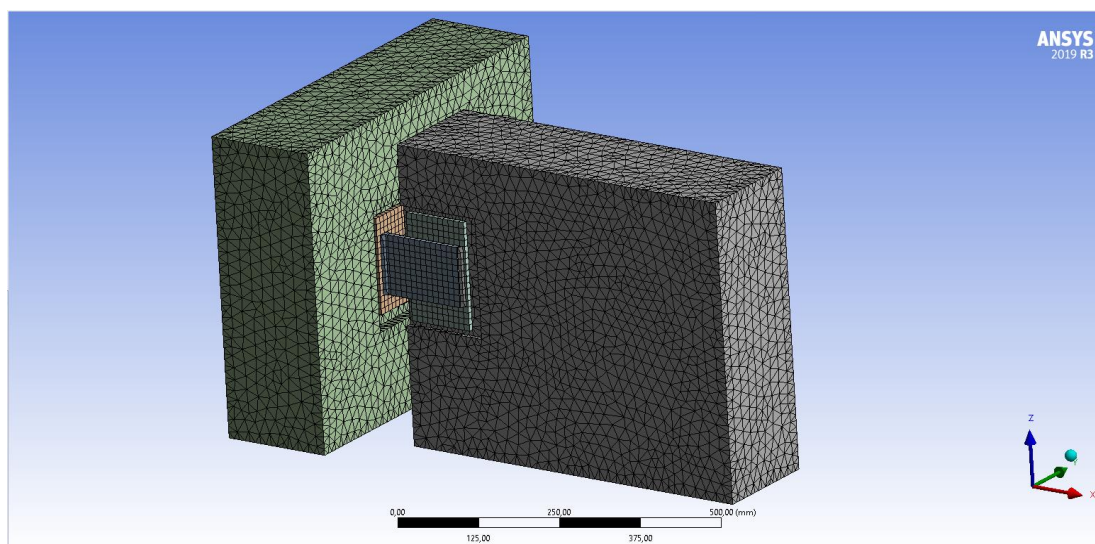


Рисунок 2 - Конечно-элементная сетка

Железобетонные панели изготовлены из тяжелого бетона класса В25 толщиной 180 мм. Металлические пластины толщиной 8 мм выполнены из стали С255 с временным нормативным сопротивлением стали $R_{un} 425,4$ МПа для третьего класса напряженно-деформированного состояния металла.

Предварительно рассматривалась упругая работа бетона железобетонных панелей и вследствие этого в численной модели не использовались диаграммы нелинейной работы бетона. Предполагалось, что закладные детали надежно закреплены в несущие конструкции по требованиям нормативных документов. Ожидались небольшие деформации и напряжения, возникающие в бетоне вблизи закладных деталей (что впоследствии подтвердилось по результатам численного эксперимента).

Режим нагружения принят шаговый. Использовалось 10 шагов приложения нагрузки. История нагружения в первом приближении принята самая простая – одновременное увеличение вертикальной и горизонтальной нагрузки (см. таблицу 1).

Таблица 1 – История нагружения

№ шага	Вертикальная нагрузка, Н	Горизонтальная нагрузка, Н
1	5000	500
2	12778	1000
3	20556	1500
4	28333	2000
5	36111	2500
6	43889	3000
7	51667	3500
8	59444	4000
9	67222	4500
10	75000	5000

Результаты исследования и их анализ

В результате последовательного нагружения было получено напряженно-деформированное состояние закладных деталей и в швах по десяти этапам одновременного нагружения. В рассматриваемой модели, при нагружении девятого этапа минимальные главные напряжения составили - 427,28 МПа, а максимальные главные напряжения в этот же момент времени - 422,62 МПа (см. рисунок 3, 4). По представленным данным можно сделать вывод, что при вертикальной нагрузке примерно 72,66 кН и горизонтальной 4,85 кН образовался пластический шарнир, и конструкция стыка перешла в стадию значительных деформаций.

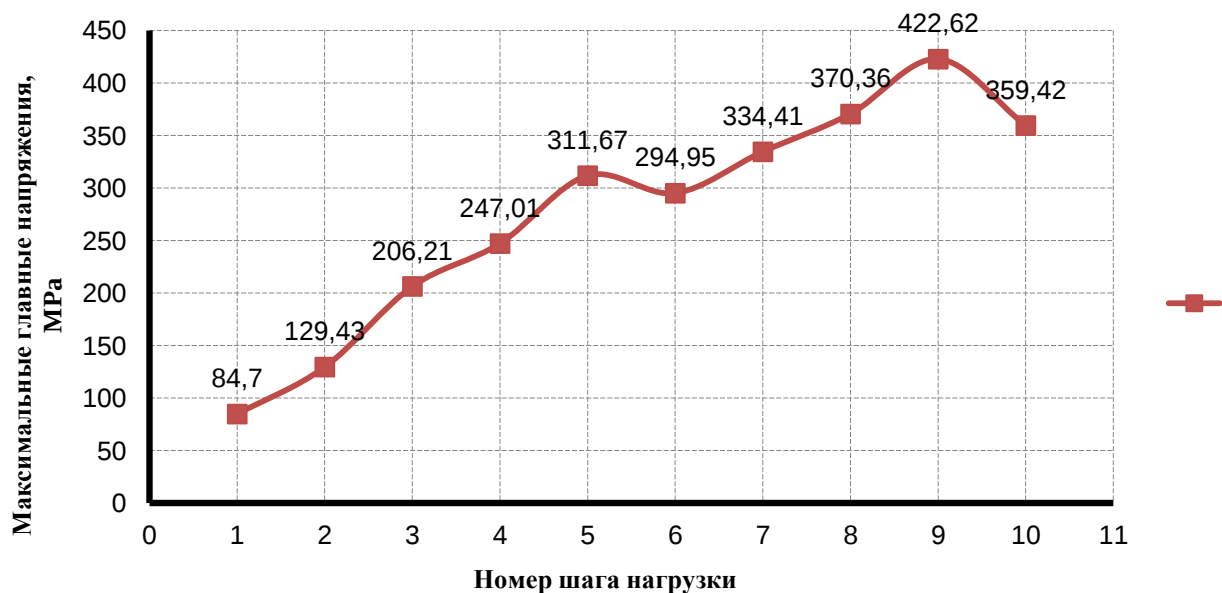


Рисунок 3 - Максимальные главные напряжения в зависимости от шага нагрузки

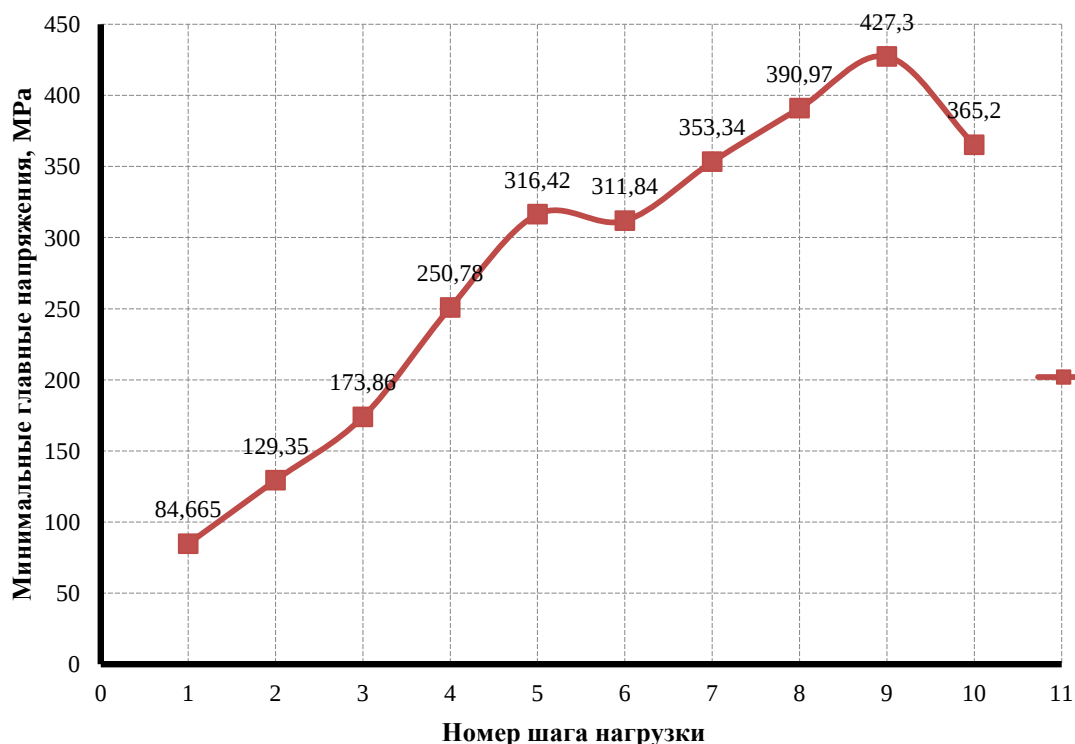


Рисунок 4 - Минимальные главные напряжения в зависимости от шага нагрузки

Получены перемещения стыка по направлениям Z и X (см. рисунок 5). Математическое описание полученных диаграмм деформирования плотного стыка при действии сдвига и кручения не производилось. Данный этап работы будет проведен после экспериментального подтверждения на натурных образцах проведенных аналитических исследований.

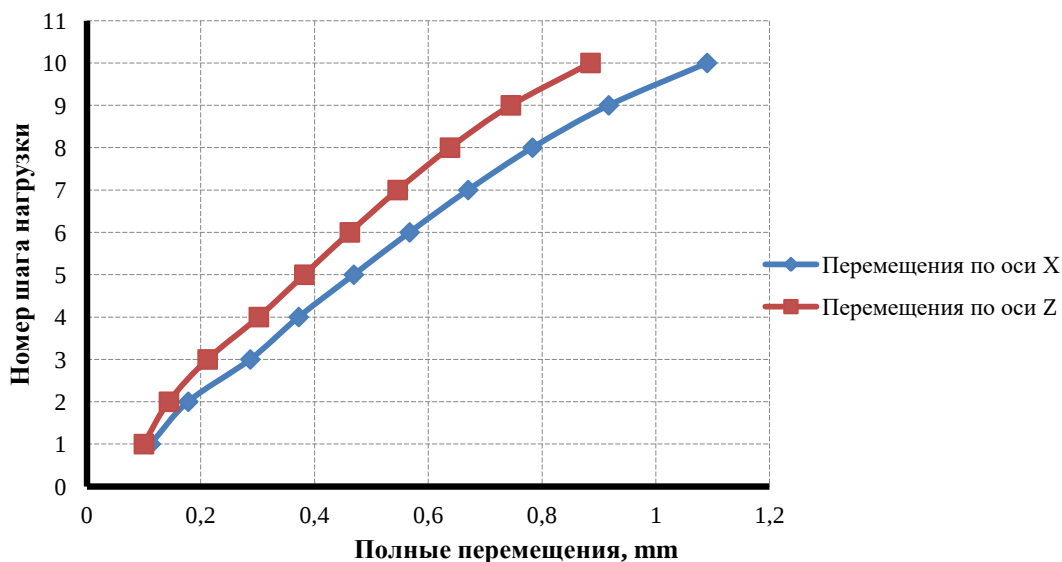


Рисунок 5 - Перемещения стыка по направлениям X и Z в зависимости от шага нагрузки

Используя данные по полученным перемещениям и крутящему моменту податливость связи на кручение в процессе нагружения изменилась с $1,78 \cdot 10^{-4}$ м/кН до $2,0378 \cdot 10^{-4}$ м/кН. Увеличение составило более 14%. Среднее значение податливости связи на сдвиг и кручение составило $1,084 \cdot 10^{-5}$ м/кН.

Выводы

На основании проведенных численных экспериментов в ANSYS MECHANICAL было получено напряженно-деформированное состояние вертикальных плотных связей сдвига для принятого режима нагружения при действии сдвига и кручения.

Установлена разрушающая нагрузка для конструкции стыка, определена деформация плотного стыка панельных зданий, определена суммарная величина податливости связи на сдвиг и кручение. Получены диаграммы деформирования связей сдвига подверженных сдвигу с кручением.

Диаграммы деформирования стыка при действии вертикального сдвига и кручения необходимые для оценки сопротивления несущих систем многоэтажных зданий горизонтальным нагрузкам нуждаются в дальнейшей верификации с натурными испытаниями образцов положенных в основу численных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов П. Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. М.: Стройиздат, 1977. 223 С.
2. Gokdemir H., Ozbasaran H., Dogan M., Unluoglu E., Albayrak U. Effects of torsional irregularity to structures during earthquakes // Engineering Failure Analysis. 2013. Vol. 35. Pp. 713-717. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.028>
3. Burgan H.I. Numerical Modeling of Structural Irregularities on Unsymmetrical Buildings // Tehnički vjesnik. 2021. Vol. 28, 3. Pp. 856-861. <https://doi.org/10.17559/TV-20200328103359>
4. Botis M., Cerbu C. A. Method for Reducing of the Overall Torsion for Reinforced Concrete Multi-Storey Irregular Structures // Applied Sciences. 2020. No. 10. 5555. <https://doi.org/10.3390/app10165555>.
5. Hussein G., Eid N., Khaled H. Torsional behavior of irregular structures during Earthquakes // Journal of Mechanical and Engineering. 2019. Vol. 16. I. 5. Ser. IV. Pp. 40-55. <https://doi.org/10.9790/1684-1605044055>.
6. TBEC 2018 Turkish Earthquake Code: Specifications for building design under earthquake effects. Ankara, Turkey.
7. EN 1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf>
8. СП КМК 2.01.03-19 Строительство в сейсмических районах. https://shank_uz/wp-content/uploads/2021/07/shank_2.01.03-19
9. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. <https://docs.cntd.ru/document/550565571>
10. Khatiwada P., Lumantarna E. Simplified Method of Determining Torsional Stability of the Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings // Civil Engineering. 2021. No. 2. Pp. 290-308.
11. Dimova S.L., Alashki I. Seismic design of symmetric structures for accidental torsion // Bull. Earthquake Eng. 2003. No. 1. Pp. 303–320.
12. Manish J., Syed Z.I. Seismic analysis of torsional irregularity in multi-storey symmetric and asymmetric buildings // Eurasian J. Anal. Chem. 2017. No. 13. Pp. 286–292.
13. Cando M.A., Hube M.A., Parra P.F., Arteta C.A. Effect of stiffness on the seismic performance of code-conforming reinforced concrete shear wall build //Engineering Structures. 2020. V. 219, 110724. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110724>.
14. Varma V., Kumar U. Seismic response on multi-storied building having shear walls with and without openings // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 37. Part 2. Pp. 801-805, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.827>.
15. 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 // Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT). 2017. Vol. 6. Pp. 801-804.
16. Ankur J., Mitesh S. Floor displacement-based torsional amplification factors for seismic design of acceleration-sensitive non-structural components in torsionally irregular RC buildings. Vol. 254, 12022, 113871. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.113871>.
17. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В. О концептуальных положениях норм сейсмостойкого строительства // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 12. С. 1673-1884.
18. 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. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-27-46>.
19. 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. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-34-47>.

20. Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов — необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений». 2009. № 1. С. 160–171.
21. Травуш В.И., Колчунов В.И., Ключева Н. В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 4-11.
22. Lyublinskiy V., Struchkov V. Resistance of Vertical Joints During Torsion of Multistorey Buildings. In: Akimov P., Vatin N., Tusnin A., Doroshenko A. (eds) Proceedings of FORM. 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 282. Springer, Cham. (2022). <https://doi.org/10.1007/978-3-031-10853-238>.
23. Люблинский В.А. О кручении несущих систем многоэтажных зданий // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 37-45. doi:10.22227/2949-1622.2023.1.37-45
24. Люблинский В.А., Томина М.В. Экспериментальное исследование прочности и податливости вертикального сварного стыка // Системы Технологии. Методы. 2018. № 3 (39). С.154–158.
25. Люблинский В.А. Испытания вертикальных сварных стыковых соединений панельных зданий // Строительство и реконструкция. 2019. № 5. С. 17-22. doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22.

REFERENCES

1. Drozdov P.F. Design and Calculation of Load-bearing Systems of Multi-storey Buildings and their Elements. Moscow: Stroyizdat, 1977. 223 p. (rus)
2. Gokdemir H., Ozbasaran H., Dogan M., Unluoglu E., Albayrak U. Effects of torsional irregularity to structures during earthquakes. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 35. Pp. 713-717. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.028>
3. Burgan H.I. Numerical Modeling of Structural Irregularities on Unsymmetrical Buildings. *Tehnički vjesnik*. 2021. Vol. 28, 3. Pp. 856-861 <https://doi.org/10.17559/TV-20200328103359>
4. Botis M., Cerbu C.A. Method for Reducing of the Overall Torsion for Reinforced Concrete Multi-Storey Irregular Structures. *Applied Sciences*. 2020. No. 10. 5555. <https://doi.org/10.3390/app10165555>.
5. Hussein G., Eid N., Khaled H. Torsional behavior of irregular structures during Earthquakes. *Journal of Mechanical and Engineering*. 2019. Vol. 16. I. 5. Ser. IV. Pp. 40-55. <https://doi.org/10.9790/1684-1605044055>.
6. TBEC 2018 Turkish Earthquake Code: Specifications for building design under earthquake effects. Ankara, Turkey.
7. EN 1998-1:2004 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf>
8. Uzbekistan Standards KMK 2.01.03-19 Construction in seismic regions. https://shank_uz/wp-content/uploads/2021/07/shank_2.01.03-19
9. SP 14.13330.2018 Construction in seismic regions. <https://docs.cntd.ru/document/550565571>
10. Khatiwada P., Lumantarna E. Simplified Method of Determining Torsional Stability of the Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings. *Civil Engineering*. 2021. No. 2. Pp. 290-308.
11. Dimova S.L., Alashki I. Seismic design of symmetric structures for accidental torsion. *Bull. Earthquake Eng.* 2003. No. 1. Pp. 303–320.
12. Manish 2, Syed Z.I. Seismic analysis of torsional irregularity in multi-storey symmetric and asymmetric buildings. *Eurasian J. Anal. Chem.* 2017. No. 13. Pp. 286–292.
13. Cando M.A., Hube M.A., Parra P.F., Arteta C.A. Effect of stiffness on the seismic performance of code-conforming reinforced concrete shear wall build. *Engineering Structures*. 2020. V. 219, 110724. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110724>.
14. Varma V., Kumar U. Seismic response on multi-storied building having shear walls with and without openings. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 37. Part 2. Pp. 801-805. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.827>.
15. 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. *Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT)*. 2017. Vol. 6. Pp. 801-804.
16. Ankur J., Mitesh S. Floor displacement-based torsional amplification factors for seismic design of acceleration-sensitive non-structural components in torsionally irregular RC buildings. Vol. 254, 12022, 113871. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.113871>.
17. Perelmuter A.V., Kabantsev O.V. On conceptual provisions of design standards for earthquake resistant construction. *Vestnik MGSU*. 2020. No. 15 (12). Pp. 1673–1684. (rus)
18. Kolchunov V.I., Demyanov A.I., Protchenko M.V. Moments in reinforced concrete structures under bending with torsion. *Building and Reconstruction*. 2021. No. 3. Pp. 27-46. (rus) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-27-46>
19. Karpenko I, Kolchunov V.I., Kolchunov V., Travush V. Calculation model of a complex stressed reinforced concrete element under torsion with bending. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. No. 17(1). Pp. 34–47. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2021-17-1-34-47>.

20. Tamrazyan A.G. An assessment of the risk and reliability of load-bearing structures and key elements is a necessary condition for the safety of buildings and structures. *Bulletin TSNIISK them. V.A. Kucherenko «Studies in the theory of structures»*. 2009. No. 1. Pp. 160-171. (rus)
21. Travush V.I., Kolchunov V.I., Klyueva N.V. Some directions of development of survivability theory of structural systems of buildings and structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*. 2015. No. 3. Pp. 4–11. (rus)
22. Lyublinskiy V., Struchkov V. Resistance of Vertical Joints During Torsion of Multistorey Buildings. In: Akimov P., Vatin N., Tusnin A., Doroshenko A. (eds) *Proceedings of FORM. 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 282. Springer, Cham. (2022). <https://doi.org/10.1007/978-3-031-10853-238>.
23. Lyublinskiy V.A. On the torsion of asymmetric bearing systems of multi-storey buildings. *Reinforced concrete structures*. 2023. No. 1(1). Pp. 37-45. doi:10.22227/2949-1622.2023.1.37-45
24. Lyublinskiy V.A., Tomina M.V. Experimental study of the strength and suppleness of a vertical welded joint. *System Technology Methods*. 2018. No. 3(39). Pp. 154–158.
25. Lyublinskiy V.A. Tests of vertical welded butt joints of panel buildings. *Building and Reconstruction*. 2019. No. 5. Pp. 17-22. doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22

Информация об авторах:

Люблинский Валерий Аркадьевич

Национальный 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

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

E-mail: struchkov2018@gmail.com

Information about authors:

Lyublinskiy Valery Ar.

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.com