

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ<sup>1</sup>, В.С. СТРУЧКОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный 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. LYUBLINSKIY<sup>1</sup>, V.S. STRUCHKOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow 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.

## 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](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 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. 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 сложноподпряженного 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., Клюева 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](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.jengstruct.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 VI., Kolchunov V., Travush1 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:struchkov2018@gmail.com)