

## Влияние связей сдвига на работу пространственной несущей системы многоэтажного здания

М.В. Томина

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия  
tomina\_mv@bk.ru

Статья поступила 4.05.2017, принята 20.05.2017

*Жилые здания, как и любые другие объекты, имеют определенный жизненный цикл — строительные конструкции, подвергаясь силовым воздействиям, со временем утрачивают расчетную несущую способность. Срок службы панельных домов массовой застройки 1960-х гг. был рассчитан на 50 лет. Тем не менее, большая часть таких домов стоит на территории России до сих пор. В настоящее время 5-этажные дома многих «хрущевских» серий сносятся в крупных городах, но для остальных городов и отдаленных регионов существующий фонд панельных зданий еще десятилетия будет составлять основу городского жилья. Срок эксплуатации всесоюзных типовых серий панельных домов 1960-х гг. подходит к концу, и в связи с этим возникает необходимость в достоверной оценке напряженно-деформированного состояния конструкций зданий. В данной работе проведен сравнительный анализ процесса формирования напряженно-деформированного состояния несущих систем зданий массовой застройки 1960-х гг. при линейном и нелинейном деформировании материалов связей сдвига. В качестве объекта исследования был взят 9-этажный крупнопанельный жилой дом 125-й серии, состоящий из одной секции. Проведена серия расчетов пространственной несущей системы здания в линейной постановке и с нелинейным деформированием материалов одного вида связей сдвига. Введение в расчет алгоритма нелинейного деформирования только одного вида связи сдвига позволяет зафиксировать ощутимую разницу (больше 5 %) в напряженности некоторых вертикальных несущих конструкциях здания. Алгоритм расчета создает методическую основу для проведения исследований других неизученных элементов пространственной несущей системы многоэтажного здания и оценки их вклада в перераспределение усилий.*

**Ключевые слова:** связи сдвига; нелинейное деформирование; пространственная несущая система многоэтажного здания; изменение несущей способности конструкций; перераспределение усилий.

## Influence of shear bonds on the operation of a spatial bearing system of a multi-storey building

M.V. Tomina

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia  
tomina\_mv@bk.ru

Received 4.05.2017, accepted 20.05.2017

*Residential buildings, like any other facilities, have a certain life cycle. Building structures that are subject to force impact lose the design load-bearing capacity over time. The service life of panel houses of mass building of the 1960s equals to 50 years. Nevertheless, most of these buildings are still being used on the territory of Russia. Currently, a number of five-storey houses of "Khrushchev" series are demolished in large cities, but for the remaining cities and remote regions, the existing fund of panel buildings will form the basis of urban housing for coming decades. The service life of all-Union typical series of panel houses of the 1960s is coming to an end. Thus, there is a need for a reliable assessment of the stress-strain state of the buildings. The paper gives a comparative analysis of the process of formation of the stress-strain state of the bearing systems of buildings in the mass building of the 1960s with linear and nonlinear deformation of shear bond materials. A 9-story large-panel residential house of the 125th series consisting of one section was taken as a research object. A series of calculations of the spatial bearing system of the building in a linear setting and with nonlinear deformation of materials of one type of shear bonds was carried out. The introduction of the algorithm for nonlinear deformation of only one type of shear connection in the calculation makes it possible to fix a tangible difference (more than 5%) in the tension of some vertical bearing structures of the building. The calculation algorithm creates a methodological basis for conducting research on other unexplored elements of the spatial bearing system of a multi-storey building and evaluating their contribution to the redistribution of efforts.*

**Keywords:** shear connection; nonlinear deformation; spatial bearing system of a multi-storey building; change of structural load-bearing capacity; redistribution of efforts.

### Введение

Срок службы панельных домов массовой застройки 1960-х гг. был рассчитан на 50 лет. Тем не менее, боль-

шая часть таких домов стоит на территории России до сих пор. В настоящее время 5-этажные дома многих «хрущевских» серий сносятся в крупных городах, но

для остальных городов и отдаленных регионов существующий фонд панельных зданий еще десятилетиями будет составлять основу городского жилища. Срок эксплуатации всесоюзных типовых серий панельных домов 1960-х гг. подходит к концу, в связи с этим возникает необходимость в достоверной оценке напряженно-деформированного состояния конструкций зданий.

В большинстве современных программных комплексов не составит труда «посчитать» здание целиком, но существующие методы расчета имеют свои недостатки, которые, возможно, не имеют большого значения на этапе проектирования, но играют важнейшую роль для достоверной оценки прочности несущей системы зданий, срок эксплуатации которых подходит к концу.

Недостатками существующих методов расчета являются упругая постановка расчета и игнорирование работы связей сдвига.

Существующие модели несущих систем многоэтажных зданий в большинстве случаев основаны на гипотезе линейной деформативности несущих элементов и соединяющих их связей сдвига. При классическом расчете здания, для упрощения задачи, зависимости между напряжениями и деформациями задаются упруго-линейным законом Гука. При этом они не позволяют в достаточной степени использовать запасы прочности конструкционных материалов. Важной особенностью реальной работы материалов является нелинейный характер зависимости между напряжением и деформацией.

В панельных многоэтажных зданиях связи сдвига являются наиболее напряженными элементами несущей системы и выполняют функции регулятора при перераспределении усилий с учетом нелинейной работы материалов. К связям сдвига относятся платформенный стык или горизонтальный шов, бетонная шпонка, вертикальные швы, сварка закладных деталей и перемычки.

Зарубежные и отечественные исследования последних десятилетий говорят о ценности работы таких связей сдвига, как перемычки [1–3], вертикальные [4–10] и

горизонтальные швы [11–13], пластинчатые связи [14]. Экспериментальные исследования о других связях сдвига очень ограничены.

*Целью данной работы* является проведение сравнительного анализа процесса формирования напряженно-деформированного состояния несущих систем зданий массовой застройки 1960-х гг. при линейном и нелинейном деформировании материалов связей сдвига.

*Основная задача работы* — установить изменения в напряженно-деформированном состоянии пространственной несущей системы здания с учетом линейной и нелинейной работы некоторых связей сдвига, а именно перемычек.

*Материалы и методы.* Объектом исследования стал 9-этажный крупнопанельный жилой дом 125-й серии, состоящий из одной секции. Несущими конструкциями в рассматриваемом доме являются внутренние железобетонные панели (столбы) толщиной 160 мм из бетона класса В25 (рис. 1). Наружные стеновые панели, имеющие толщину 400 мм, являются самонесущими. В зависимости от расположения несущих элементов были определены грузовые площади каждого столба. Через грузовые площади на каждый столб передается нагрузка. Здание рассчитывалось только на вертикальную нагрузку.

Для решения поставленной задачи проведена серия расчетов пространственной несущей системы здания, представленной в виде математической модели — дискретно-континуальной [15; 16] (рис. 3). За основу был взят алгоритм расчета пространственных несущих систем многоэтажных зданий в линейной постановке (программа «Авторяд ЕС») [15]. Изменение нескольких блоков программы, в том числе внедрение нелинейной диаграммы деформирования перемычек 1–11 (рис. 2), полученной на основе экспериментальных данных Холы Муса [17], позволило зафиксировать некоторые отличия в выходных данных.

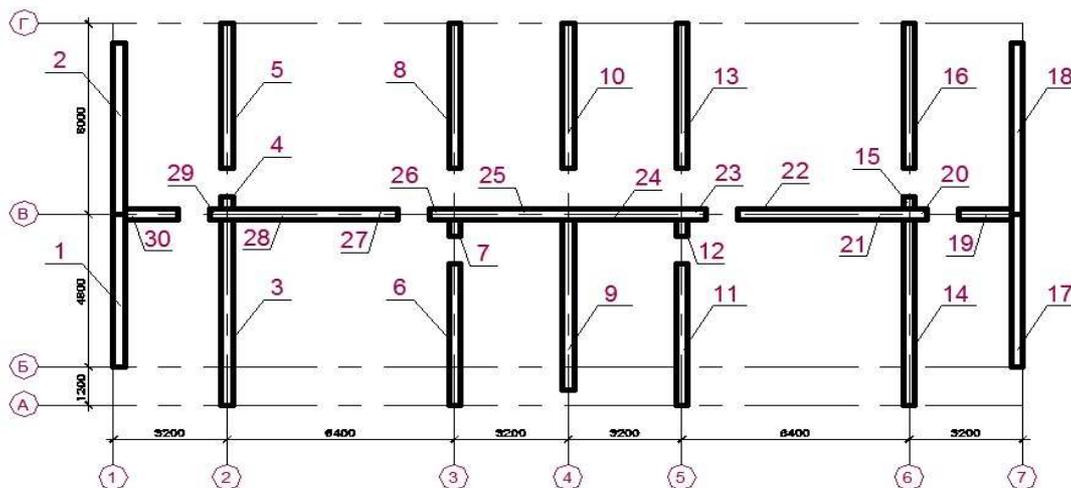


Рис. 1. Расчетная схема здания (столбы)

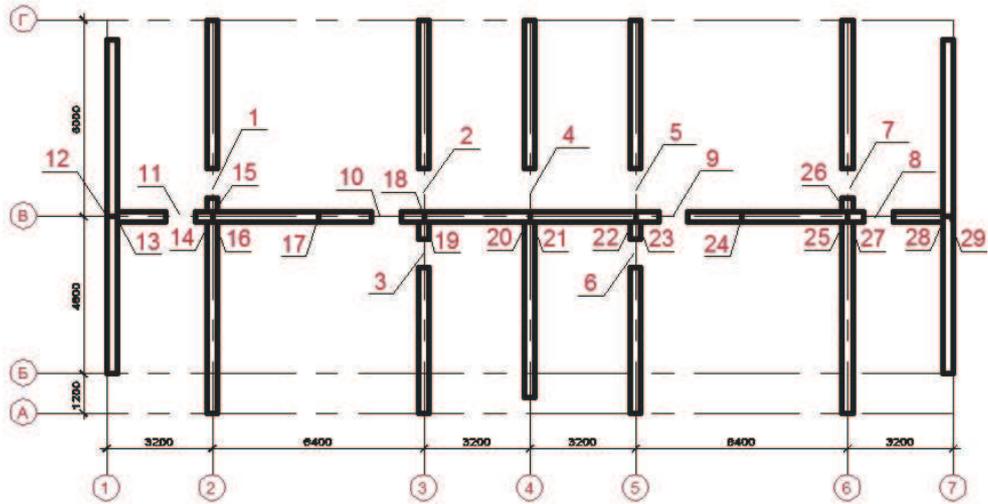


Рис. 2. Расчетная схема здания (связи)

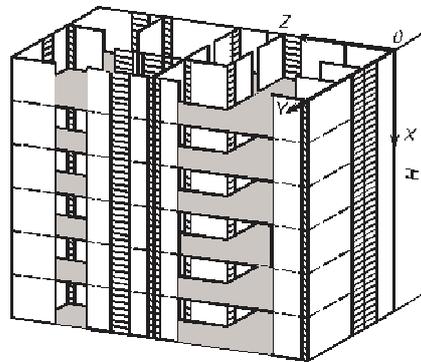


Рис. 3. Дискретно-континуальная модель несущей системы многоэтажного здания

**Результаты.** В связях № 1 и 3 податливость увеличилась на 9 и 11 % соответственно, в связи № 5 — уменьшилась на 26 %.

Увеличение податливости приводит к уменьшению жесткости перемычки, соответственно уменьшаются нормальные силы в столбах диафрагм. В столбах № 10

и 21 нормальные усилия уменьшились на 9 и 8 % соответственно (рис. 4).

Примечательно, что изменения коснулись и тех связей сдвига, которые рассчитывались в упругой постановке, например, в № 9 и 18 перерезывающие усилия увеличились на 18 и 17 % соответственно (рис. 5).

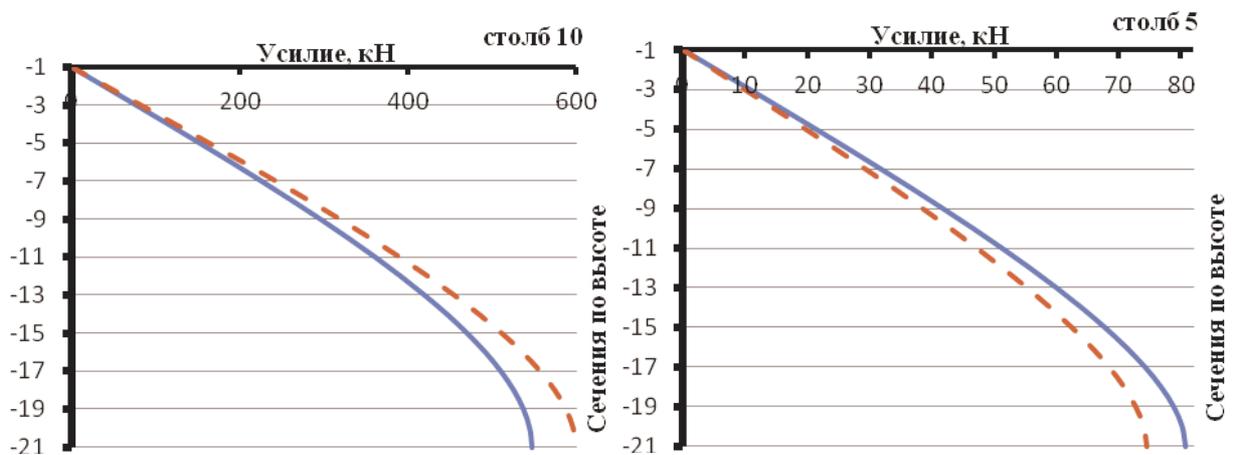


Рис. 4. Эпюры нормальных усилий в столбах 10, 5: непрерывная линия — линейный расчет; штриховая линия — расчет с изменением деформирования перемычек

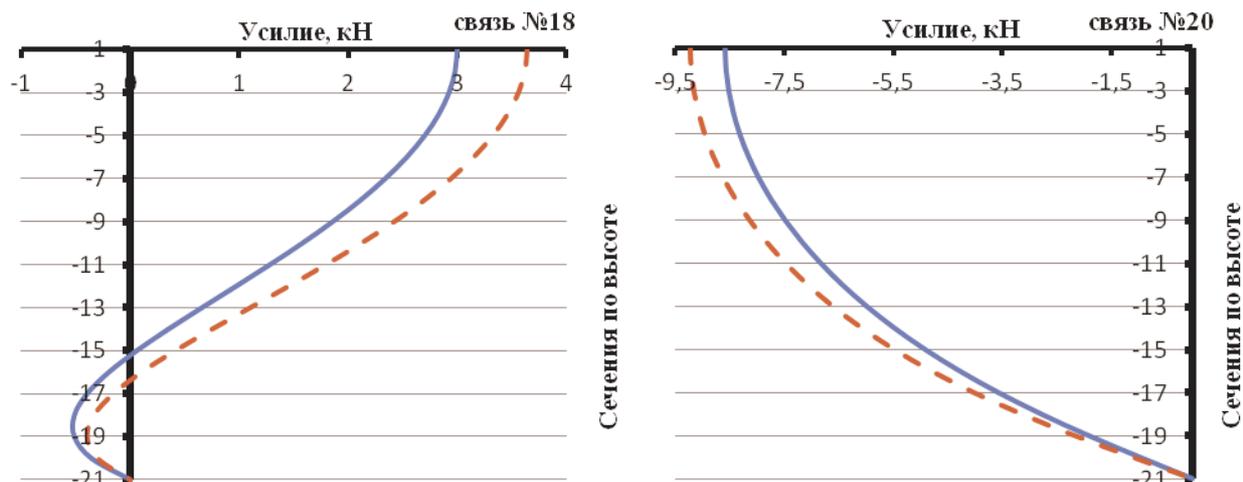


Рис. 5. Эпюры перерезывающих усилий в связях 18, 20: непрерывная линия — линейный расчет; штриховая линия — расчет с изменением деформирования перемычек

Введение в расчет алгоритма нелинейного деформирования только одного вида связи сдвига позволяет зафиксировать ощутимую разницу (больше 5 %) в напряженности некоторых вертикальных несущих конструкциях здания. Также изменения в усилиях появляются в тех связях сдвига, которые рассчитывались в упругой постановке. Это лишний раз доказывает, что все элементы в пространственной несущей системе здания взаимосвязаны, и при изменении прочности одного элемента происходит перераспределение усилий во всех несущих конструкциях здания [18; 19].

### Заключение

Использование нелинейной диаграммы деформирования только одних перемычек вносит некоторые изменения в алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния несущей системы здания.

Информация об экспериментальных данных других связей сдвига (например, фиктивных и плоских) очень ограничена. Это создает площадку для исследований и оценки их вклада в перераспределение усилий в пространственной несущей системе здания.

### Литература

1. Hong Guan. Ultimate strength analysis of normal and high strength concrete wall panels with varying opening configurations // *Engineering Structures*. 2010. № 32. P. 1341–1355.
2. Ramin Vaghei, Farzad Hejazi, Hafez Taheri, Mohd Saleh Jaafar, Abang Abdullah Abang Ali. Evaluate Performance of Precast Concrete wall to wall Connection // *APCBEE Procedia*. 2014. № 9. P. 2853–2862.
3. Todut C., Dan D., Stoian V. Theoretical and experimental study on precast reinforced concrete wall panels subjected to shear force // *Engineering Structures*. 2014. № 80. P. 323–338.
4. Huang Y., Hamed E., Chang Z. T., Foster S.J. Theoretical and experimental investigation of Failure behavior of one-way high-strength concrete wall panels // *Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession*. – Pittsburgh, Pennsylvania, United States: Publisher: American Society of Civil Engineers, 2013. P. 2203–2214.

5. Chatveera B., Nimityongskul P. Vertical shear strength of joints in prefabricated loadbearing walls // *J. Natl. Res. Council Thailand*. 1994. P. 11–36.

6. Sarni H. Rizkalla, Reynaud L. Serrette, J. Scott Heuvel, Emmanuel K. Attiogbe. Multiple Shear Key Connections for Precast Shear Wall Panels // *PCI JOURNAL*, USA. 1989. P. 104–119.

7. Карякин А.А., Сонин С.А., Дербенцев И.С., Бельдейко И.А. Экспериментальные исследования вертикальных шпунтовых стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями // *Вестн. ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура*. 2011. Вып. 13, № 35. С. 16–20.

8. Иващенко Ю.А., Верзаков А.С. Экспериментальное исследование стыка панельной системы // *Вестн. ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура*. 2014. Т. 14, № 1. С. 9–22.

9. Байбурун А.К. Надежность монтажа панельных зданий по параметрам качества продукции // *Вестн. ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура*. 2011. Вып. 13, № 35. С. 40–43.

10. Дроздов П.Ф., Додонов М.И., Панышин Л.Л., Саруханян Р.Л. Проектирование и расчет многоэтажных зданий и их элементов: М.: Стройиздат, 1986. С. 351.

11. Хола Муса. Нелинейные деформации и предельная несущая способность вертикальных диафрагм монолитных многоэтажных зданий: дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. 163 с.

12. Томина М.В. Влияние временной нагрузки на распределение усилий в несущих элементах многоэтажных зданий // *Молодая мысль: наука, технологии, инновации: материалы VII (XIII) Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых*. Братск, 2015. С. 57–61.

13. Люблинский В.А., Золотарева Е.В., Томина М.В. Влияние проектных воздействий на распределение усилий в несущих системах многоэтажных зданий // *Современные проблемы расчета железобетонных конструкций зданий и сооружений на аварийные воздействия динамического характера: сб. докл. междунар. науч. конф., посвящ. 85-летию каф. Железобетонных и каменных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова*. М., 2016. С. 225–229.

### References

1. Hong Guan. Ultimate strength analysis of normal and high strength concrete wall panels with varying opening configurations // *Engineering Structures*. 2010. № 32. P. 1341–1355.

2. Ramin Vaghei, Farzad Hejazi, Hafez Taheri, Mohd Saleh Jaafar, Abang Abdullah Abang Ali. Evaluate Performance of Precast Concrete wall to wall Connection // APCBEE Procedia. 2014. № 9. P. 2853-2862.
3. Todut C., Dan D., Stoian V. Theoretical and experimental study on precast reinforced concrete wall panels subjected to shear force // Engineering Structures. 2014. № 80. P. 323-338.
4. Huang Y., Hamed E., Chang Z. T., Foster S.J. Theoretical and experimental investigation of Failure behavior of one-way high-strength concrete wall panels // Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession. - Pittsburgh, Pennsylvania, United States: Publisher: American Society of Civil Engineers, 2013. P. 2203-2214.
5. Chatveera B., Nimityongskul P. Vertical shear strength of joints in prefabricated loadbearing walls // J. Natl. Res. Council Thailand. 1994. P. 11-36.
6. Sarni H. Rizkalla, Reynaud L. Serrette, J. Scott Heuvel, Emmanuel K. Attiogbe. Multiple Shear Key Connections for Precast Shear Wall Panels // PCI JOURNAL, USA. 1989. P. 104-119.
7. Karyakin A.A., Sonin S.A., Derbentsev I.S., Bel'deiko I.A. Experimental studies of vertical keyed joints of reinforced concrete wall panels with loop flexible connections // Bulletin of South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture. 2011. Vyp. 13, № 35. P. 16-20.
8. Ivashchenko Yu.A., Verzakov A.S. Experimental study of the joint of the panel system // Bulletin of South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture. 2014. T. 14, № 1. P. 9-22.
9. Baiburin A.K. Reliability of installation of panel buildings in terms of product quality parameters // Bulletin of South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture. 2011. Vyp. 13, № 35. P. 40-43.
10. Drozdov P.F., Dodonov M.I., Pan'shin L.L., Sarukhanyan R.L. Designing and calculation of multi-storey buildings and their elements: M.: Stroizdat, 1986. P. 351.
11. Khola Musa. Nonlinear deformations and ultimate load capacity of vertical diaphragms of monolithic multi-storey buildings: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 1985. 163 p.
12. Tomina M.V. The effect of temporary loading on the distribution of forces in the load-bearing elements of multi-storey buildings // Molodaya mysl': nauka, tekhnologii, innovatsii: materialy VII (XIII) Vserossiiskoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh. Bratsk, 2015. P. 57-61.
13. Lyublinskii V.A., Zolotareva E.V., Tomina M.V. Influence of beyond design effects on distribution of forces in load-bearing systems of multi-storey buildings // Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonykh konstrukttsii zdaniy i sooruzheniy na avariinye vozdeystviya dinamicheskogo kharaktera: sb. dokl. mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. 85-letiyu kaf. Zhelezobetonykh i kamennykh konstrukttsii i 100-letiyu so dnya rozhdeniya N.N. Popova. M., 2016. P. 225-229.