

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ¹¹Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ПОДАТЛИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ СДВИГА ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Податливость вертикальных стыков панельных зданий является необходимым элементом математических моделей несущих систем. Определены податливости однотипных связей, работающих на сдвиг. Использовались экспериментальные данные и нормативная литература. Существующая нормативная база и экспериментальные исследования приводят к существенному разбросу податливости вертикальных связей, работающих на сдвиг. Связи типа сварки закладных деталей, армированные шпонки обычно работают в упругой области, применение диаграмм деформирования дает возможность учесть особенности работы стыковых соединений, трещинообразование, нелинейную работу при сложных нагружениях. Податливость стыков определялась по диаграммам деформирования сдвиг - перемещение. Параметры, заложенные в расчетную дискретно-континуальную модель несущей системы здания при стандартном статическом нагружении, определены численным моделированием с использованием программного комплекса. В статье произведено на примере конкретной серии панельных зданий П-44 сравнение напряженно-деформированного состояния при различных значениях податливости. Приведены усилия в панелях здания и прогибы в зависимости от податливости связей сдвига.

Ключевые слова: крупнопанельные здания, связи сдвига, податливость связей, стыковые соединения.

V.A. LYUBLINSKIY¹¹National Research Moscow State University of civil engineering, Moscow, Russia

PLIABILITY OF VERTICAL SHEAR BONDS OF PANEL BUILDINGS

Abstract. The pliability of dense joints of panel buildings is a necessary element of mathematical models of load-bearing systems. The malleability of the same type of connections working on the shift is determined. Experimental data and normative literature were used. The existing regulatory framework and experimental studies lead to a significant variation in the pliability vertical joints working for the shear. Connections such as welding of embedded parts, reinforced dowels usually work in the elastic region, but the use of deformation diagrams makes it possible to take into account the peculiarities of the work of butt joints, cracking, nonlinear work under complex loads. The malleability of joints was determined by the shear-displacement deformation diagrams. The parameters embedded in the calculated discrete-continuum model of the building's load-bearing system under standard static loading are determined by numerical modeling using a software package. The article uses the example of a specific series of panel buildings P-44 to compare the stress-strain state at different values of compliance. The forces in the panels of the building and deflections depending on the pliability of shear joints are given.

Keywords: large-panel buildings, deformability of connections, shear bonds, butt joints.

Введение

В панельных зданиях вертикальные несущие конструкции и перекрытия объединены в единую пространственную жесткую конструкцию посредством многочисленных и разнообразных связей. Вертикальные и горизонтальные стыки являются одними из

© Люблинский В.А., 2022

напряженных элементов крупнопанельных зданий. Стыки воспринимают усилия сдвига, растяжения, сжатия и изгиба. Математические модели несущих систем многоэтажных зданий, положенные в основу программных комплексов, ориентируются на упругую работу стыковых соединений [1,2,3]. На этом базируется СП 335.1325800.2017 [4] и более ранние нормативные документы. Согласно [4] податливостью называется величина, обратная жесткости, которая характеризуется коэффициентом (λ), равным перемещению от единичного силового воздействия. Податливость является обратной величиной жесткости. Различают податливость при растяжении λ_t мм/Н, сжатии λ_c мм³/Н, сдвиге λ_τ мм/Н и повороте λ_φ 1/МН. Рассмотрим далее податливость (коэффициент податливости) при сдвиге. Податливость стыка складывается из податливости элементов входящих в стык. Например, податливость стыка на закладных деталях складывается из податливости закладных деталей, сварных швов и соединительных элементов.

Сдвиговое перемещение для одной связи от единичной силы определяется по [1]:

$$\varphi = \Delta_{\text{сдв}} / Q_{\text{сдв}} \quad (1)$$

Коэффициент жесткости (податливости) на вертикальный сдвиг в плоскости панелей согласно [5] для бессварных стыков на тросовых петлевых соединениях является обратной величиной (2):

$$K = Q / \Delta \quad (2)$$

где Q – сдвиговое усилие, которое приходит на 1 м.п. стыка

Δ – смещение стыка, вызванное усилием и равное 1 мм.

В [5] представлены зависимости по определению податливости для двух типов вертикальных связей – бетонное шпоночное соединение и армированное шпоночное соединение. Эти зависимости нуждаются в уточнении и для шпоночного соединения отражают только линейную работу, а для армированного соединения линейную работу с изменением угла наклона диаграммы после образования трещин.

В ранних работах [1,6] собраны подробные сводные таблицы по податливости различных типов и видов плотных связей сдвига, основанные на экспериментальных данных. Примерно к этому времени относится и становление существующей нормативной базы по определению податливости связей сдвига.

Современные экспериментальные исследования податливости вертикальных стыков направлены на исследования нелинейного деформирования элементов панельных зданий. В [7] приведено сравнение податливостей по [17] и компьютерной модели в программном комплексе Лира. Рассмотрены две модели стыка: модель с необъединенным перемещением узлов и модель с объединенным перемещением узлов. Сделан вывод о том, что рекомендуемые зависимости по нормативным документам завышают податливость, следовательно, занижают жесткость вертикальных стыков. Значения податливости по нормативному документу – $2,08 \cdot 10^{-6}$ м/кН, модель с необъединенным перемещением узлов – $1,21 \cdot 10^{-6}$ м/кН, модель с объединенным перемещением узлов – $0,56 \cdot 10^{-6}$ м/кН. Разница значений податливости по [17] с первой моделью в 1,7 раз, а со второй моделью в 3,7 раз.

В работах [8,9] было рассмотрено сопротивление сдвигу фрагмента вертикального соединения 125-ой серии. Соединение – сварка закладных деталей. Нагрузка прикладывалась ступенями, примерно 10% от разрушающей нагрузки с выдержкой в 10 минут. Диаграмма зависимости «сдвиг-смещение» была построена автоматической системой нагружения при приоритетном отслеживании перемещений. Следует отметить, что до значения перерезывающего усилия $Q = 80$ кН наблюдалась упругая работа стыка, при этом податливость составила $9,1 \cdot 10^{-8}$ м/Н. Затем зафиксирована нелинейная работа стыка.

В [10-13,18] представлен ряд исследований стыковых несущих элементов. В случае шпоночных стыков, сопротивление сдвигу в вертикальном направлении обеспечивается шпонками, арматурными выпусками и бетоном замоноличивания. По экспериментальным

данным была построена зависимость нагрузка-смещения для эталонных образцов, а также типовые кривые смещения.

В работе [14] определена податливость шпоночного стыка для двух железобетонных панелей по методикам [5,17]. Жесткость стыка определялась до образования трещин и после. По нормативному документу определялось два значения – при кратковременной нагрузке и длительной. В результате расчетов жесткость по СТО при длительной нагрузке до образования трещин получилась меньше в 0,77 раз, а после образования больше в 3,30 раз, это обусловлено тем, что в методике [5] не учитывается две стадии работы шпонок, диаметр стержней петли и характеристики материалов. В работе [15] рассмотрены шпоночные стыки с петлевыми гибкими связями. Все исследуемые стыки работали в два стадии – до образования трещин (значительная жесткость, сдвиговые перемещения практически отсутствуют) и после (жесткость значительно снижается, увеличивается скорость деформаций). Разрушение всех стыков происходило от среза шпонки. Аналогичный шпоночный стык железобетонных панелей с петлевыми гибкими связями рассмотрен и в [16]. Испытывались образцы -линейный стык и Т-образный стык. Среднее значение податливости для линейного стыка $1,0 \cdot 10^{-7}$ м/Н, для Т-образного $1,9 \cdot 10^{-8}$ м/Н.

Краткий обзор представленных исследований позволяет сделать выводы о значительном разбросе податливостей вертикальных стыковых соединений панельных стен многоэтажных зданий. Получены диаграммы деформирования различных стыков в зависимости от сдвигающих усилий (рисунки 1 – 4). Диаграммы группированы по однотипным стыкам.

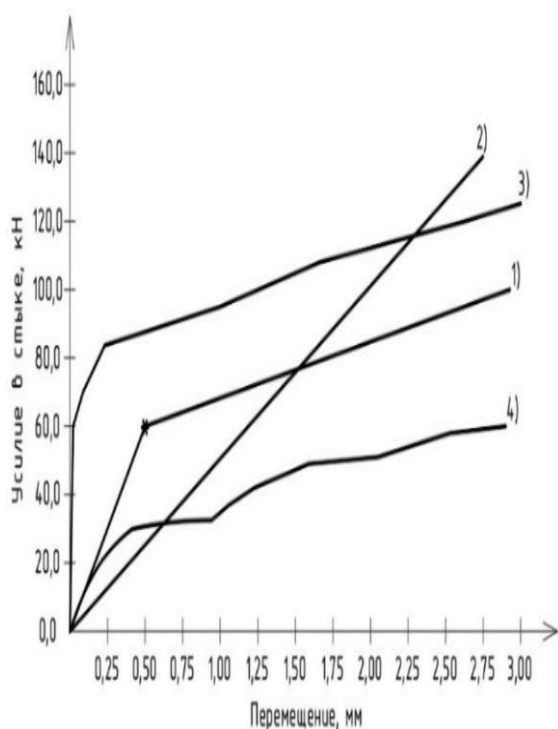


Рисунок 1 – Диаграмма сдвиг-перемещение для стыка с тросовыми петлями:
1) – [4]; 2) – [5]; 3) – [15]; 4) – [16]

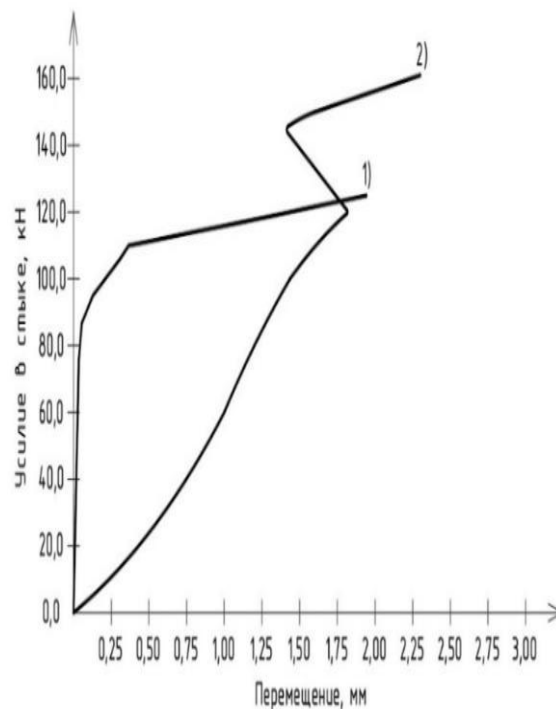


Рисунок 2 –Диаграмма сдвиг-перемещение для Т-образного стыка с тросовыми петлями:
1) – [15]; 2) –[16]

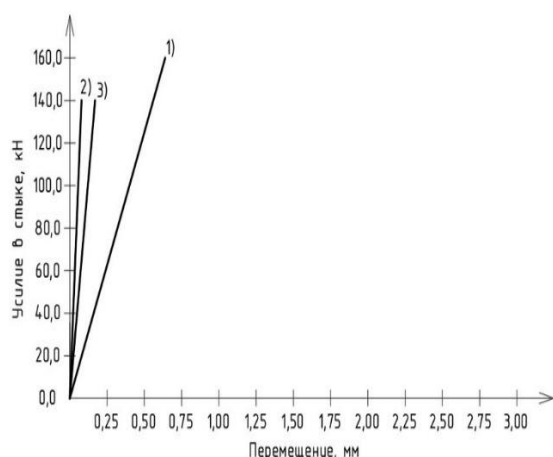


Рисунок 3 – Диаграмма сдвиг-перемещение для шпоночного стыка: 1) – [6]; 2) – [7] объединенное перемещение узлов; 3) – [7] необъединенное перемещение узлов

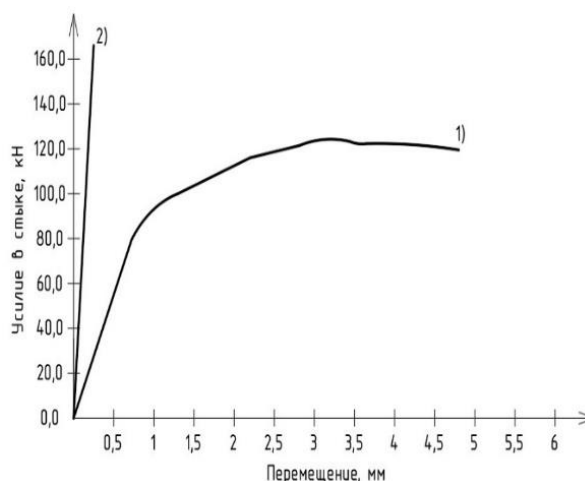


Рисунок 4 – Диаграмма сдвиг-перемещение для стыка со сваркой закладных деталей: 1) – [9]; 2) – [1]

Модели и методы

В данной работе объектом исследования являлся 17-этажный односекционный крупнопанельный жилой дом серии П-44 в г. Москва. Несущими конструкциями являлись внутренние продольные и поперечные стеновые панели толщиной 180 мм из бетона класса В25. Конструктивная схема здания с расположением несущих элементов представлена на рисунке 5.

Расчет здания выполнялся в программном комплексе [18, 19,1].

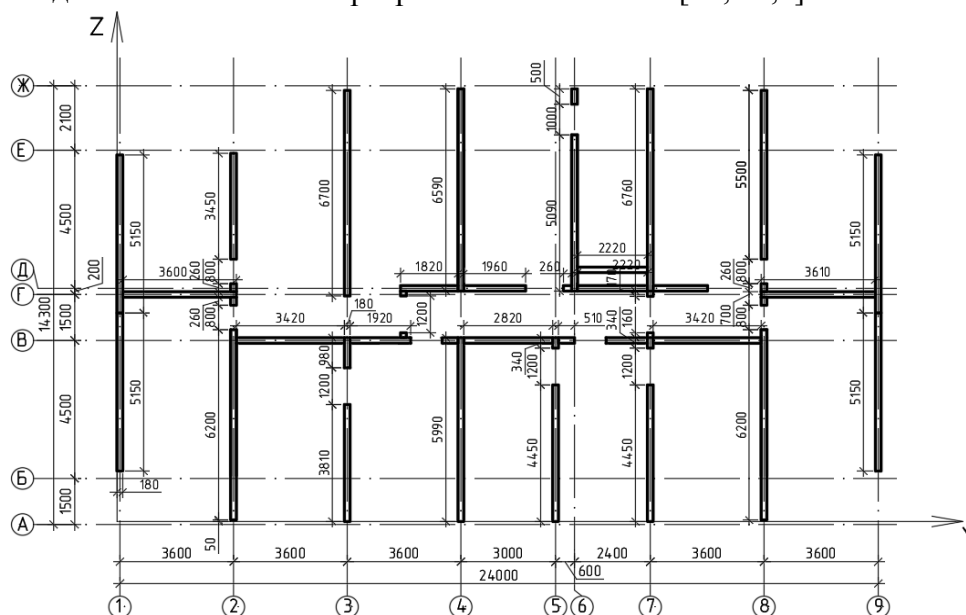


Рисунок 5 – Несущая система панельного здания серии П-44

Для расчета задавалась податливость (жесткость) плотных сдвиговых связей и связей типа перемычек. Для надпроемных перемычек податливость определялась по [1] и в дальнейших расчетах принималась постоянной. Для плотных связей определялась по зависимости [1]:

$$s = \varphi \cdot h/b,$$

где b – расстояние между центрами тяжести двух смежных панелей;
 φ – коэффициент податливости.

Перерасчет податливости выполнялся по диаграммам деформирования для плотных связей, для которых задавался новый коэффициент податливости по зависимости $Q-\Delta$ (рисунок 1). Коэффициенты податливости только по одному виду стыков приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов податливости по диаграммам

№ диаграммы	Усилие в стыке, кН	$\varphi \cdot 10^{-6}$, м/кН
1 [4]	21	0,35
2 [5]	60	8,33
3 [15]	60	10,39
4 [16]	60	19,79

Результаты исследования и их анализ

В результате численного моделирования были получено напряженно-деформированное состояние несущей системы. Графики изменения нормальных усилий N и изгибающего момента M для произвольно выбранного столба панелей 1 приведены на рисунках 6 и 7 соответственно. Прогиб здания вдоль оси Y и перерезывающее усилие для плотной связи даны на рисунках 8 и 9.

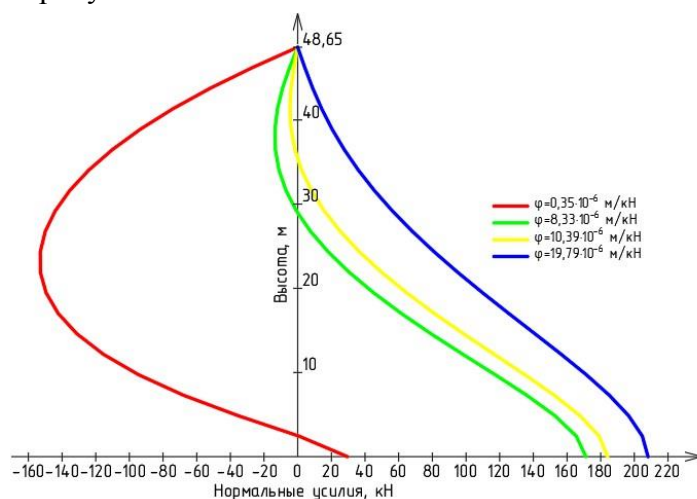


Рисунок 6 – График изменения нормальных усилий N для столба 1 в зависимости от коэффициента податливости φ (стык с тросовыми петлями)

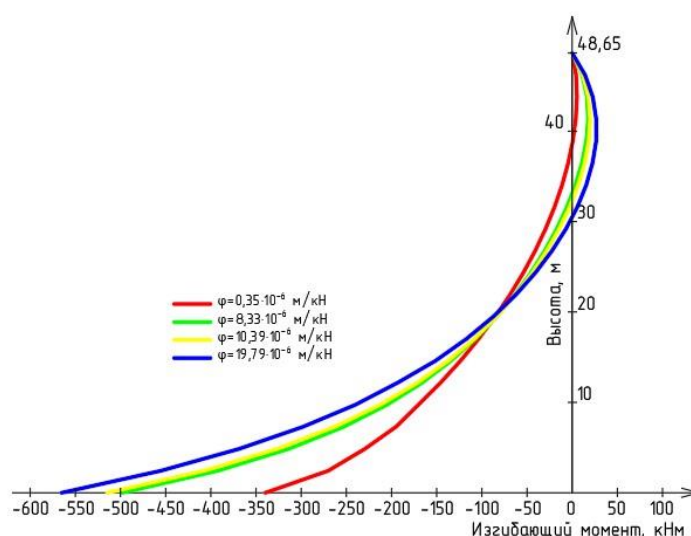


Рисунок 7 – График изменения изгибающего момента для столба 1 в зависимости от коэффициента податливости φ (стык с тросовыми петлями)

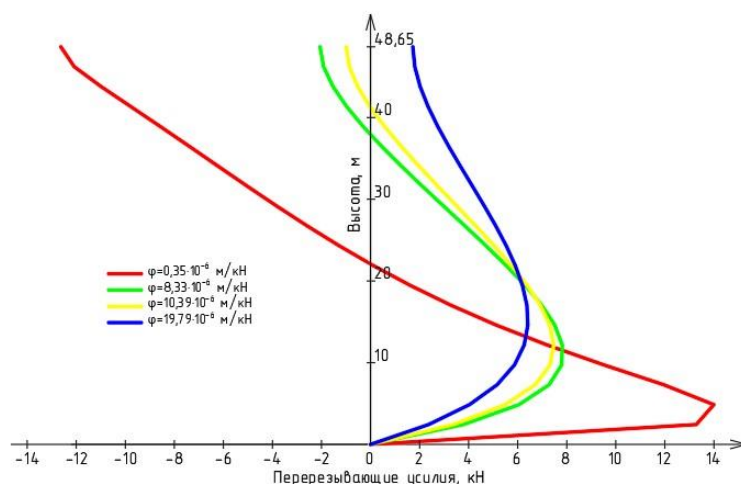


Рисунок 8 – График изменения перерезывающего усилия для связи 16 в зависимости от коэффициента податливости φ (стык с тросовыми петлями)

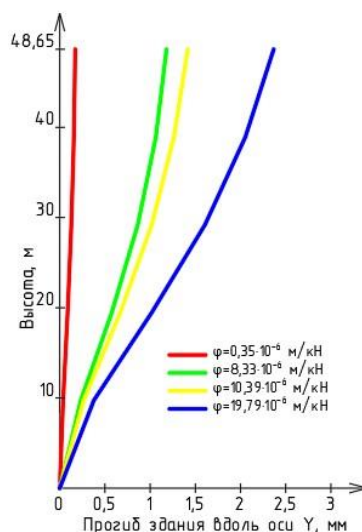


Рисунок 9 – График изменения прогиба здания вдоль оси Y в зависимости от коэффициента податливости φ (стык с тросовыми петлями)

Для линейного стыка с тросовыми петлями были рассмотрены как нормативные источники, так и экспериментальные исследования. Отличие коэффициентов податливости хорошо видно из таблицы 1. Разница значений в некоторых источниках более порядка, что при численном моделировании существенно влияет на напряженно-деформированное состояние несущих элементов здания. Не имеет смысла приводить процентное изменение усилий, напряжений всех несущих элементов и стыков между ними, прогибов здания по осям. Аналогичная картина наблюдается и при численном моделировании по диаграммам деформирования приведенных на рисунках 2-4.

Выводы

Податливость плотных вертикальных стыков по нормативной базе и экспериментальным исследованиям имеют существенное расхождение. Применяются различные методики определения податливости стыковых соединений. Появляются новые конструктивные решения стыков и экспериментальные данные, полученные с использованием современных испытательных машин. Жесткостные параметры вертикальных стыковых соединений, работающие на сдвиг, методика их определения нуждаются в корректировке с учетом опыта проектирования и экспериментальных данных.

При этом рассматривается работа стыка в плоскости панельных стен, которые он соединяет. Практически все стыки испытывались на усилия одного направления. Более сложные вертикальные плотные стыки испытывались в МГСУ, но и в этих испытаниях нагружение стыков осуществлялось по одной оси.

Имеются веские основания полагать, что работа бетонных, армированных, металлизированных стыков далека от линейной, чему посвящены многочисленные экспериментальные исследования, и которые тоже должны быть учтены в нормативной базе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. М.: Стройиздат, 1977. 223 с.
2. Горачек Е., Лишак В.И., Пуме Д. и др. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций. М.: Стройиздат, 1980. 192 с.
3. Todut C, Dan D, Stoian V. Theoretical and experimental study on precast reinforced concrete wall panels subjected to shear force // *Engineering Structures* 2014. Vol. 80. Pp. 323–338.
4. СП 335.1325800.2017. Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования.
5. СТО 36554501-026-2012. Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков на тросовых петлевых соединениях и многопустотными плитами без опалубочного формования.
6. Дыховичный Ю.А. Конструирование и расчет жилых и общественных зданий повышенной этажности. М.: Стройиздат, 1970. 248 с.
7. Блажко В.П. Об определении податливости связей при формировании расчетных моделей панельных зданий // *Жилищное строительство*. 2017. №3. С.17-21.
8. Lyublinskiy V.A., Ubysz A. Stress-strain state panel buildings and welded butt joints // *E3S Web of Conferences* 263, 02015. 2021. doi:10.1051/e3sconf/202126302015.
9. Люблинский В.А. К испытанию вертикальных стыковых соединений панельных зданий // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 5(85). С. 17-22.
10. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С., Карпов А.Е., Ласковенко А.Г. Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий // В сборнике: *Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия*. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. 2016. С. 413-416.
11. Ahilan R., Anandhi S., Govindharajan V. Experimental investigation of vertical connections in precast wall panel under shear load // *Int. J. Sci. Technol. Eng.* 2016. Vol.20. №2. Pp: 217-222.
12. Rossley N., Aziz F.N.A.A., Chew H.C., Farzadnia N. Behaviour of vertical loop bar connection in precast wall subjected to shear load // *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 2014. Vol. 8. №1. Pp: 370-380.
13. Люблинский В.А., Тамразян А.Г. Безопасность несущих систем многоэтажных зданий при локальном изменении жесткостных характеристик несущих элементов. В сборнике: *Бетон и железобетон - взгляд в будущее. научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: В семи томах*. М.:2014. С. 90-99.
14. Модин А.К., Сергеев М.С., Лисятникова М.О., Суханов А.А. Анализ работы вертикального стыка монолитного шпоночного соединения двух железобетонных панелей с использованием гибкой стержневой арматуры // *Вестник БГТУ им В.Г. Шухова*. 2019. №2. С. 33-38.
15. Дербенцев И.С., Тарасов М.В., Карякин А.А. Натурные испытания вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями на сдвиг // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2021. Т. 21. №3. С. 13-22. doi:10.14529/build210302
16. Карякин А.А., Сонин С.А., Дербенцев И.С., Бельдейко И.А. Экспериментальные исследования вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями // *Вестник ЮУрГУ*. 2011. №35. С. 16-20.
17. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). М.: Стройиздат. 1989. 304 с.
18. 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* 196, 02049 (2018). doi:10.1051/matecconf/201819602049
19. Люблинский В.А., Веприкова Е.М., Астанин А.А. Программный комплекс «Анализ напряженно-деформированного состояния элементов многоэтажного здания (ABECV 1.0.0.1)»: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004612219, Москва: RosPATENT, 2004.

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. Gorachek E., Lishak V.I., Pume D., Dragilov I.I., Kameyko V.A., Morozov N.V and Tsimbler V.G. Strength and rigidity of butt joints of panel structures. Experience of the USSR and Czechoslovakia. Moscow: Stroyizdat, 1980. 192p (rus)
3. Todut C., Dan D., Stoian V. Theoretical and experimental study on precast reinforced concrete wall panels subjected to shear force Engineering Structures 2014, Vol. 80. Pp. 323–338.
4. SP 335.1325800.2017. Large-panel structural systems. Design rules.
5. STO 36554501-026-2012. Recommendations for calculation and design of residential large-panel houses with application vertical and horizontal no-welding joints at wire cable loop connections and no formwork multihollow plates.
6. Dykhovichny Y.A. Design and calculation of residential and public buildings of increased number of storeys. Moscow: Stroyizdat, 1970. 248 p.(rus)
7. Blazhko V. P. On the determination of the compliance of constraints in the formation of computed models of panel buildings. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2017. No. 3. Pp. 17-21.
8. Lyublinskiy V., Ubysz A. Stress-strain state panel buildings and welded butt joints// E3S Web of Conferences 263, 02015 (2021). doi:10.1051/e3sconf/202126302015.
9. Lyublinskiy V.A. To test vertical welded butt joints of panel buildings // Building and Reconstruction. 2019. No. 5(85). Pp 17-22. (rus) doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22
10. Tamrazyan A.G., Dekhterev D.S., Karpov A.Ye., Laskovenko A.G. Opredeleniye raschetnykh parametrov dlya otsenki nadezhnosti platformennykh stykov panel'nykh zdaniy [Determination of design parameters for assessing the reliability of platform joints of panel buildings] // In the proceedings of conference: Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruktсий, zdaniy i sooruzheniy na avariynnye vozdeystviya [modern problems of calculating reinforced concrete structures, buildings and structures for emergency impacts]. Under ed. A.G. Tamrazyan, D.G. Kopanitsa. 2016. Pp. 413-416.
11. Ahilan R., Anandhi S., Govindharajan V. Experimental investigation of vertical connections in precast wall panel under shear load // Int. J. Sci. Technol. Eng. 2016. V.20. №2. Pp. 217-222.
12. Rossley N., Aziz F.N.A.A., Chew H.C., Farzadnia N. Behaviour of vertical loop bar connection in precast wall subjected to shear load // Aust. J. Basic Appl. Sci. 2014. V.8. №1. Pp. 370-380.
13. Lyublinskiy V. A., Tamrazian A. G. Safety of bearing systems multistory buildings locally modified stiffness characteristics of the capacity element Proc. Int. Conf on Concrete and Reinforced concrete, 2 Moscow: 2014. Pp. 90-99.
14. Modin A.K., Sergeev M.S., Lisatnikova M.O., Sukhanov A.A. Analysis of vertical joint's work in the monolithic keyed joint of two reinforced concrete panels using the flexible rod armature. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp.33–38. (rus) DOI: 10.12737/article_5c73fbfe576a47.59051268
15. Derbentsev I.S., Tarasov M.V., Karyakin A.A. Full Scale Testing of Vertical Keyed Joints of Reinforced Concrete Wall Panels with Flexible Loop Connections in Shear. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture. 2021. Vol. 21.No. 3.Pp. 13–22. (rus). DOI: 10.14529/build210302
16. Karyakin A.A., Sonin S.A., Derbentsev I.S., Beldeiko I.A. Experimental research of vertical keyed joints of concrete wall panels with flexible loops. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture. 2011. Vol. 13. No 35. Pp. 16-20.
17. Manual for the design of residential buildings. Issue 3. Constructions of residential buildings (SNiP 2.08.01-85) // M.: Stroyizdat. 1989. 304 p. (rus)
18. 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 196, 02049 (2018). doi:10.1051/matecconf/201819602049
19. Lyublinskiy V., Veprikova E., Astanin A., Program Complex Analysis of Stressed Deformed State of Elements of a Multi-story Building (ABEC V 1.0.0.1): Certificate of official registration of a computer program. No.2004612219. Moscow: RosPATENT, 2004.

Информация об авторах:

Люблинский Валерий Аркадьевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции».
E-mail: lva_55@mail.ru

Information about authors:

Lyublinskiy Valery A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, professor, professor of the department of reinforced concrete and stone structures.
E-mail: lva_55@mail.ru