К ИСПЫТАНИЮ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СВАРНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

ЛЮБЛИНСКИЙ В.А.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация. В данной работе было проведено экспериментальное исследование сварного обетонированного стыка на сдвиговое усилие. Испытание проводилось только на сдвиг, поскольку основное статическое назначение вертикальных стыковых соединений панелей – обеспечить восприятие сдвигающих сил, возникающих в стыках при совместной работе сопрягаемых стен. Объектом исследования является фрагмент вертикального стенового соединения 125 серии крупнопанельных жилых зданий, толщина которого составляла 160 мм, а общая высота – 550 мм. В результате проведенных экспериментальных исследований определено напряженно-деформированное состояние вертикального стыкового соединения и предложена аппроксимирующая зависимость деформации сварного стыка от усилий сдвига. Результаты испытаний могут быть использованы при расчете несущих систем крупнопанельных зданий с учетом нелинейной податливости сварных стыков.

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

TO TEST VERTICAL WELDED BUTT JOINTS OF PANEL BUILDINGS

LYUBLINSKIY V.A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstract. In this work, an experimental study of the welded concreted joint on the shear force was carried out. The test was carried out only for shear, since the main static purpose of vertical butt joints of panels is to ensure the perception of shear forces arising in the joints when the mating walls work together. The object of the study was a fragment of wall vertical connection 125 a series of large-panel residential buildings, the thickness of which was 160 mm and the total height is 550 mm. In result of experimental research defined stress-strain state of vertical butt joints and proposed approximating the dependence of the deformation of the weld joint from shear forces. The test results can be used in the calculation of load-bearing systems of largt-panel buildings taking into account the nonlinear compliance of welded joints.

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

Введение

Развитие новых технологий возведения зданий, появление новых программных комплексов и методик пространственного расчета зданий, повышение рыночного спроса привели к новому этапу роста крупнопанельного домостроения.

Для повышения уровня безопасности крупнопанельных зданий необходимо как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации учесть все факторы, которые могут возникать в несущих конструкциях [1-6].

Панельное здание представляет собой набор тонкостенных вертикальных несущих конструкций, объединенных в пространственную систему дисками перекрытий, горизонтальными и вертикальными связями. Одной из задач при возведении панельных зданий является обеспечение достаточной несущей способности стыковых соединений. Стыковые соединения панелей, работающие на сдвиг, и именуемые связями сдвига, являются наиболее

ответственными элементами несущей системы панельного здания. Благодаря стыковым соединениям панельное здание представляет собой весьма жесткую и прочную пространственную систему, способную противостоять вертикальным, горизонтальным и сейсмическим нагрузкам, неравномерным деформациям основания, климатическим температурно-влажностным и аварийным воздействиям. К наиболее распространенным связям сдвига относятся: платформенный стык, бетонная шпонка, перемычки или надпроемные пространства и сварка закладных деталей. Одним из самых часто используемых соединений стеновых панелей в существующей крупнопанельной застройке является сварной обетонированный стык. В новом панельном домостроении появляются и новые конструкции стыков [7,8]. Поскольку панельная застройка предыдущих серий составляет значительную часть жилого фонда РФ, изучение податливости сварного межпанельного соединения имеет немаловажное значение. По вертикальным межпанельным соединениям, таким как бетонная шпонка и другие бессварные стыки, проведено большое количество исследований [9-14], но по сварке закладных деталей экспериментальные данные достаточно ограничены.

Основная задача работы – проанализировать влияние нагрузки на деформации сварного стыка, установить схему разрушения исследуемого соединения.

Материалы и методы

В данной работе объектом исследования является фрагмент вертикального стенового соединения 125 серии крупнопанельных жилых домов. Стеновые панели в данной серии соединялись между собой посредством сварки закладных деталей. Для исследования были изготовлены конструкции опытных образцов, которые в точности соответствовали основному типу вертикального межпанельного соединения, принимаемого при проектировании крупнопанельных зданий 125 серии.

Рисунок 1– Геометрические характеристики опытного образца

Конструкция образцов представляет собой две Г-образные панели толщиной 160 мм из тяжелого бетона В20 (см. рисунок 1)

Общая высота составляет 550 мм. Панели имеют конструктивное двустороннее армирование из стержней класса стали А240 и проволоки класса стали В500. Стык замоноличивается бетоном В15 на мелком заполнителе фракции – 10 мм. Стальная закладная деталь покрыта цементным раствором В7,5 толщиной 20 мм. Закладная деталь представляет собой петлю с загнутыми концами и тремя приваренными пластинами.

Основное назначение вертикальных стыковых соединений панелей – сформировать пространственную несущую систему здания и

обеспечить восприятие сдвигающих сил, возникающих в стыках при совместной работе сопрягаемых стен [15]. Взаимные сдвиги стеновых панелей, возникающие во время возведения здания из-за неравномерной нагрузки на стены и различной деформативности, продолжают-

ся и в эксплуатационный период. Причинами дополнительных взаимных сдвигов стен являются неодинаковы деформации усадки и ползучести сопрягаемых стен, неравномерные осадки основания, температурные климатические воздействия, а также действие горизонтальных (ветровых и сейсмических) нагрузок [16,17].

Для обеспечения сдвигающего усилия каждый образец обжимался в двух направлениях с помощью металлических пластин на затяжках (см. рисунок 2). Конструкция образцов предусматривает возможность оценки работоспособности и жесткости узла, обеспечивающих передачу усилий в панельном здании. Непосредственно перед испытаниями производилось определение прочности бетона и растворного шва разрушающим методом на сжатие. На оттарированном испытательном прессе испытывались стандартные образцы-кубы 100 мм×100 мм (для бетона сборного элемента) и 70,7 х70,7 мм (раствора шва).

Всего было испытано 8 образцов. Каждый образец был установлен в универсальную автоматическую гидравлическую машину WAW-500С. Нагрузка прикладывалась поэтапно, ступенями, каждая из которых составляла примерно 10% от разрушающей нагрузки. После приложения каждой доли нагрузки образец выдерживался под нагрузкой не менее 10 минут. Испытания осуществлялись вплоть до разрушения образцов согласно [18-21]. Одновременно при проведении испытаний контроль проводился и по деформациям. Скорость нагружения составляла 0,5- 2 мм/мин.

По результатам испытания получены данные о схемах разрушения, деформативности и разрушающих нагрузках стыковых соединений. При испытаниях установлено следующее:

- характер деформирования сварного соединения при работе на сдвиг упруго-пластичный;
- схема разрушения образцов была следующая: сначала появляются трещины и начинается разрушаться раствор замоноличивания, примерно на 7-9 ступени нагружения начинается разрушаться сварной шов, приваренная к закладной детали пластина, которая соединяет две панели между собой, заметно перекашивается и начинает рваться (см. рисунок 3). Сварные швы в процессе нагружения не имели следов разрушения.

Рисунок 2 – Натурный образец сварного обетонированного стыка

Рисунок 3 – Разрыв пластины в предельной стадии разрушения

В результате испытаний для каждого образца была получена основная характеристика связи сдвига – диаграмма деформирования «сдвиговое усилие - смещение» (см. рисунок 4).

Рисунок 4 – Экспериментальные диаграммы деформирования сварного стыка

Диаграммы свидетельствует о нелинейном поведении стыка под нагрузкой. Предложена аппроксимирующая зависимость в виде полинома второй степени:

$$Q(\Delta) = (-0,0581\Delta^2 + 4,8381\Delta + 25,429), \quad (1)$$

где Q – перерезывающее усилие, кН;

Δ – смещение, мм.

Заключение

Получены достоверные экспериментальные данные по прочности и деформативности сварных стыковых соединений панельных зданий. Стыковые сварные соединения обладают достаточной прочностью и выполняют свои функции при значительных нагрузках. Не произошло разрушения закладных деталей стеновых панелей, не зафиксированы трещины на стеновых панелях и разрушения сварных швов.

Выполненные исследования и полученные результаты податливости сварных стыков могут быть использованы при определении напряженно-деформированного состояния несущих систем панельных зданий и оценки их эксплуатационной пригодности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блажко В.П. Об определении податливости связей при формировании расчетных моделей панельных зданий // Жилищное строительство. 2017. №3. С. 17-21.
2. 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.
3. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 21-27.

4. Обозов В.И., Мамаева Г.В. Анализ динамических характеристик крупнопанельных зданий по экспериментальным данным // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 2. С. 41-48.
5. Тихонов И.Н. Об эффективном конструировании железобетонных элементов крупнопанельных зданий // Жилищное строительство. 2011. № 3. С. 50-54.
6. Бондаренко В.П., Евтушенко А.И. Причины и анализ повреждений крупнопанельных зданий в период их эксплуатации // Научное обозрение. 2016. №8. С. 56-63.
7. Грановский А.В., Доттуев А.И., Блажко В.П. Экспериментальные исследования прочности при сдвиге и растяжении вертикальных стыков панелей с использованием связей из стальных замков BT-Spannschloss // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 1. С. 17-20.
8. Соколов Б.С., Миронова Ю.В. Прочность и податливость вертикальных стыков стеновых панелей с использованием гибких петель // Жилищное строительство. 2014. № 5. С. 60-62.
9. 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. Серия «Строительство и архитектура». 2011. Вып. 13. № 35. С. 16-20.
10. Chatveera B., Nimityongskul P. Vertical shear strength of joints in prefabricated loadbearing walls // J. Natl. Res. Council Thailand. 1994. Pp. 11-36.
11. Sarni H. Rizkalla, Reynaud L. Serrette, J. Scott Heuvel, Emmanuel K. Attiogbe. Multiple Shear Key Connections for Precast Shear Wall Panels // PCI JOURNAL. 1989. Pp. 104-119.
12. Ramin Vaghei, Farzad Hejazi, Hafez Taheri, Mohd Saleh Jaafar, Abang Abdullah Abang Ali. Evaluate performance of precast concrete wall to wall connection // J. APCBEE Procedia. 2014. 9. Pp. 2853-290.
13. Томина М.В. Влияние связей сдвига на работу пространственной несущей системы многоэтажного здания // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 2 (34). С.152-156
14. Люблинский В.А., Томина М.В. Влияние нелинейного деформирования перемычек на процесс распределения усилий в несущих элементах диафрагмы // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 2 (38). С.153-158.
15. Лишак В.И., Горачек Е., Пуме Д. и др Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций. Опыт СССР и ЧССР. М.: Стройиздат, 1980. С. 121-144.
16. 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.
17. Тамразян А.Г. Особенности работы высотных зданий // Жилищное строительство. 2004. № 3. С.19-20.
18. ГОСТ 10180-2012. Бетоны методы определения прочности по контрольным образцам. Введ. 2013-07-01. М.: Стандартиформ, 2013. 31 с.
19. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные методы испытаний. Введ. 1986-01-07. М.: Стандартиформ, 2008. 19 с.
20. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний на нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. Введ. 1998-01-01. М.: МНТКС, 1997. 24 с
21. Рекомендации по проектированию стальных закладных деталей для железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ, Стройиздат, 1984. 87 с.

REFERENCES

1. Blazhko V.P. Ob opredeleniye podatlivosti svyazey pri formirovani raschetnykh modeley panel'nykh zdaniy [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.
2. 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 konstruksiy, 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.
3. Tamrazyan A.G. Osnovnyye printsipy otsenki riska pri proyektirovani zdaniy i sooruzheniy [The basic principles of risk assessment in the design of buildings and structures]. Vestnik MGSU. 2011. No 2-1. Pp. 21-27.
4. Obozov V.I., Mamayeva G.V. Analiz dinamicheskikh kharakteristik krupnpanel'nykh zdaniy po eksperimental'nym dannym [Analysis of dynamic characteristics of large-panel buildings according to experimental data]. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 2007. No 2. Pp. 41-48.
5. Tikhonov I.N. Ob effektivnom konstruirovaniye zhelezobetonnykh elementov krupnpanel'nykh zdaniy [On the effective design of reinforced concrete elements of large-panel buildings]. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2011. No 3. Pp. 50-54.

6. Bondarenko V.P., Yevtushenko A.I. Prichiny i analiz povrezhdeniy krupnopanel'nykh zdaniy v period ikh ekspluatatsii [Causes and analysis of damage to large-panel buildings in the period of their operation]. *Nauchnoye obozreniye*. 2016. No 8. Pp. 56-63.
7. Granovskiy A.V., Dottuyev A.I., Blazhko V.P. Eksperimental'nyye issledovaniya prochnosti pri sdvige i rastyazhenii vertikal'nykh stykov paneley s ispol'zovaniyem svyazey iz styazhnykh zamkov BT-Spannschloss [Experimental studies of the shear strength and tensile strength of vertical joints of panels using connections from BT-Spannschloss couplers]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2014. No 1. Pp. 17-20.
8. Sokolov B.S., Mironova Yu.V. Prochnost' i podatlivost' vertikal'nykh stykov stenovykh paneley s ispol'zovaniyem gibkikh petel' [Strength and compliance of vertical joints of wall panels using flexible loops]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2014. No 5. Pp. 60-62.
9. Karyakin A.A., Sonin S.A., Derbentsev I.S., Bel'deyko I.A. Eksperimental'nyye issledovaniya vertikal'nykh shponochnykh stykov zhelezobetonnykh stenovykh paneley s petlevymi gibkimi svyazami [Experimental studies of vertical shponochnykh joints of reinforced concrete wall panels with loop flexible connections]. *Vestnik YuUrGU. Seriya Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2011. Vol. 13. No 35. Pp. 16-20.
10. Chatveera B., Nimityongskul P. Vertical shear strength of joints in prefabricated loadbearing walls. *J. Natl. Res. Council Thailand*. 1994. Pp. 11-36.
11. Sami H. Rizkalla, Reynaud L. Serrette, J. Scott Heuvel, Emmanuel K. Attiogbe. Multiple Shear Key Connections for Precast Shear Wall Panels. *PCI JOURNAL*. 1989. Pp. 104-119.
12. Ramin Vaghei, Farzad Hejazi, Hafez Taheri, Mohd Saleh Jaafar, Abang Abdullah Abang Ali. Evaluate performance of precast concrete wall to wall connection. *J. APCBEE Procedia*. 2014. 9. Pp. 2853-290.
13. Tomina M.V. Vliyaniye svyazey sdviga na rabotu prostranstvennoy nesushchey sistemy mnogoetazhnogo zdaniya [Influence of shear bonds on the work of the spatial bearing system of a multi-storey building]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2017. No 2 (34). Pp. 152-156.
14. Lyublinskiy V.A., Tomina M.V. Vliyaniye nelineynogo deformirovaniya peremychek na protsess raspredeleniya usily v nesushchikh elementakh diafragmy [Influence of nonlinear deformation of bridges on the process of distribution of forces in the bearing elements of the diaphragm]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2018. No 2 (38). Pp. 153-158.
15. Lishak V.I., Gorachek Ye., Pume D. etc. Prochnost' i zhestkost' stykovykh soyedineniy panel'nykh konstruktsey. Opyt SSSR i CHSSR [Strength and rigidity of butt joints of panel structures. Experience of the USSR and Czechoslovakia]. Moscow: Stroyizdat, 1980. Pp. 121-144.
16. Tamrazyan A.G. Otsenka riska i nadezhnosti nesushchikh konstruktsey i klyuchevykh elementov - neobkhodimoye usloviye bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy [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]. *Vestnik TSNIISK im. V.A. Kucherenko "Issledovaniya po teorii sooruzheniy"*. 2009. No 1. Pp. 160-171.
17. Tamrazyan A.G. Osobennosti raboty vysotnykh zdaniy [Features work of high-rise buildings]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2004. No 3. Pp. 19-20.
18. Russian Standard GOST 10180-2012. Betony metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nykh obraztsam [Concrete methods of determining the strength of control samples]. Introduced 2013-07-01. Moscow: Standartinform, 2013. 31 p.
19. Russian Standard GOST 5802-86. Rastvory stroitel'nyye metody ispytaniy [Mortars construction test methods]. Introduced 1986-01-07. Moscow: Standartinform, 2008. 19 p.
20. Russian Standard GOST 8829-94. Izdeliya stroitel'nyye zhelezobetonnyye i betonnyye zavodskogo izgotovleniya. Metody ispytaniy nagruzheniyem. Pravila otsenki prochnosti, zhestkosti i treshchinostoykosti [Products made of reinforced concrete and concrete factory made. Methods of loading tests. Rules for evaluation of strength, rigidity and crack resistance]. Introduced 1998-01-01. Moscow: MNTKS, 1997. 24 p.
21. Rekomendatsii po proyektirovaniyu stal'nykh zakladnykh detaley dlya zhelezobetonnykh konstruktsey [Recommendations on the design of steel fittings for reinforced concrete structures]. Moscow: NIIZHB, Stroyizdat, 1984. 87 p.

Информация об авторах:

Люблинский Валерий Аркадьевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, Кандидат технических наук, профессор, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, E-mail: lva_55@mail.ru

Information about authors:

Lyublinskiy Valery A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate in tech. sc., prof., associated prof. of the dep. reinforced concrete and stone structures E-mail: lva-55@mail.ru