

Д.А. МАРИНИНА¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СВАРНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЫКОВ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НА ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЯХ

Аннотация. Анализ результатов исследований, представленных в научно-технической литературе, показал отсутствие данных о работе сварных вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков.

С целью определения технических параметров, необходимых для расчета и проектирования крупнопанельных зданий, были проведены экспериментальные исследования работы сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков при действии растягивающих и сдвигающих усилий. Статическая нагрузка прикладывалась ступенями до разрушения опытных образцов. В ходе испытаний фиксировались перемещения в месте изгиба соединительных элементов опытных образцов. На основании полученных экспериментальных данных определены значения податливости соединительных элементов вертикального стыка на закладных деталях.

Вычислены и предложены поправочные коэффициенты для точного определения податливости соединительных элементов в виде прокатных и гнутых уголков вертикального стыка на закладных деталях. Выявлен различный характер деформирования и разрушения сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков с одинаковыми геометрическими размерами при действии на стыки растягивающих и сдвигающих усилий.

Ключевые слова: крупнопанельные здания, сварной вертикальный стык, испытание на сдвиг, испытание на растяжение, податливость, упругая стадия работы стыка, разрушающая нагрузка.

D.A. MARININA¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

THE BEARING CAPACITY AND DEFORMABILITY OF WELDED VERTICAL JOINTS OF LARGE-PANEL BUILDINGS ON EMBEDDED PARTS

Abstract. Analysis of the research results presented in the scientific and technical literature showed the absence of data about the operation of welded vertical joints of large-panel buildings on embedded parts with connecting elements in the form of bent and rolled angle bars. In order to determine the technical parameters necessary for the calculation and design of large-panel buildings, experimental researches of the operation of welded vertical joints on embedded parts with connecting elements in the form of bent and rolled corners under the action of tensile and shear forces were carried out. The static load was applied in stages until the destruction of the prototypes. During the experimental researches, the displacements in the place of bending of the connecting elements of the prototypes were recorded. On the basis of the experimental data obtained, the values of compliance of the connecting elements of the vertical joint on embedded parts were determined. Correction coefficients for the correct definition the compliance of connecting elements in the form of rolled and bent angle bars of a vertical joint on embedded parts are calculated and proposed. A different nature of deformation and destruction of welded vertical joints on embedded parts with connecting elements in the form of rolled and bent angle bars with the same geometric dimensions under the action of tensile and shear forces on the joints is revealed.

Keywords: large-panel buildings, welded vertical joint, shear test, tensile test, compliance, elastic stage of joint operation, breaking load.

1. Введение

Крупнопанельные здания повышенной этажности со сварными вертикальными стыками на закладных деталях с соединительными элементами (накладками) в виде металлических уголков занимают значительную роль в современном жилищном строительстве.

В практике строительного производства в качестве соединительных элементов применяют как металлические гнутые, так и прокатные уголки. Наибольшее распространение получило конструктивное решение сварных вертикальных стыков с соединительными элементами в виде гнутых уголков, поскольку для таких накладок возможна коррекция их геометрии в построечных условиях, когда перпендикулярность сопряжения стеновых панелей здания обеспечивается с определенным допуском [1].

Стальные связи устраивают в двух уровнях, в основном: по верху опорной четверти под перекрытием и в нижней зоне панели.

Напряженно-деформированное состояние конструкций и стыков крупнопанельных зданий повышенной этажности существенно зависит от величины горизонтальных (ветровых) нагрузок.

С увеличением высоты здания неравномерность распределения горизонтальных (ветровых) нагрузок по участкам стен, различные упругие свойства материалов панелей и податливости связей приводят к взаимному смещению сопрягаемых стен вдоль вертикальных стыков и возникновению сдвигающих усилий в связях.

В вертикальных стыках так же возникают усилия растяжения или сжатия, которые появляются, в основном, вследствие неравномерных деформаций основания и климатических воздействий [2].

Несущие конструкции и их стыковые соединения должны выполнять свои функции в течение срока эксплуатации здания, поэтому на этапе проектирования выполняется оценка напряженно-деформированного состояния конструкций и стыков крупнопанельного здания в современных программно-вычислительных комплексах с учетом податливости связей, которые рекомендуется определять аналитически по действующим нормам [3, 4].

Теоретические методы определения коэффициентов податливости вертикальных стыков не являются достаточно достоверными, поскольку податливость стыка зависит от трудно оцениваемых факторов: деформации закладных и монтажных деталей, сварных швов между ними, деформации анкеров, бетона в зоне анкерования и т.д.

Поэтому, наиболее достоверные значения податливости связей в вертикальных стыках могут быть получены на основании статистической обработки экспериментальных данных, т.к. такой метод учитывает одновременно все факторы.

В настоящее время, как в России, так и за рубежом, разрабатываются новые конструкции стыков крупнопанельных зданий, учитывающие опыт эксплуатации первых панельных зданий, кроме того, проводятся дополнительные исследования работы существующих конструктивных решений [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

В работе [6] предложено конструктивное решение стыков вертикальных и горизонтальных несущих конструкций для домов повышенной этажности. По результатам экспериментального исследования было выявлено, что исчерпание несущей способности нового конструктивного решения стыка происходит вследствие разрушения основного сечения стеновой панели.

В [8] приведены результаты исследований традиционного вертикального стыка на закладных деталях, объединенных пластиной-накладкой с использованием сварных швов.

Практическая значимость этих исследований состоит в количественной оценке прочности и степени деформирования стыков, а также связи между этими параметрами. Кроме того, в ходе экспериментальных исследований устанавливались особенности деформирования стыков при их нагружении.

Результаты исследования податливости на сдвиг вертикальных соединений диафрагм жесткости при действии повторно прикладываемой нагрузки представлены в работе [13]. Н.М. Володин, Г.В. Кащеев испытывали образцы вертикальных стыков панелей на закладных деталях.

В результате испытаний, податливость верхних связей оказалась примерно в 1,5 раза больше податливости нижних связей. При расчете диафрагм принималось среднее арифметическое значение коэффициентов податливости: для верхних и нижних связей.

В работе [13] показано, что распространение, либо какая-либо экстраполяция экспериментально найденных значений податливости связей одной конструкции на связи другой конструкции может привести к грубым ошибкам.

В результате исследований, выполненных В.В. Данелем, И.Н. Кузьменко [14], и исследований, выполненных С.А. Зениным, Р.Ш. Шариповым и Кудиновым [15], были получены выводы об отсутствии достоверных формул жесткости (податливости) стыков панельных зданий различных конструктивных решений.

Анализ имеющихся результатов исследований работы вертикальных стыков, изложенных авторами в пособиях, статьях и справочниках, показал, что данные о работе сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде металлических гнутых и прокатных уголков в литературе отсутствуют.

Настоящее исследование направлено на изучение работы сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде металлических гнутых и прокатных уголков.

2. Экспериментальные исследования работы сварных вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков

2.1. Модели и методы

Проведены две группы испытаний: на растяжение и сдвиг.

Исследования проводились в лабораторных условиях с использованием опытных образцов:

I группа – испытания на растяжение: опытные образцы (соединительные элементы) с гнутыми уголками 75x50x5 мм, длиной 100 мм; с гнутыми уголками 75x50x6 мм, длиной 100 мм; с прокатными уголками 75x50x6 мм, длиной 100 мм (по 3 опытных образца каждого вида).

II группа – испытания на сдвиг: опытные образцы (соединительные элементы) с гнутыми уголками 75x50x5 мм, длиной 100 мм, с прокатными уголками 75x50x5 мм, длиной 100 мм (по 3 опытных образца каждого вида).

Всего было испытано 15 опытных образцов.

Опытные образцы представляли собой соединения металлических гнутых, либо прокатных уголков с закладными деталями (пластинами) и металлической оснастки, моделирующей работу вертикального стыка при растяжении, либо сдвиге.

Сварные швы непрерывные высокоточные (электроды Э50, швы – П-образные, способ сварки - РД) выполнены сварщиком 5 разряда.

Сталь уголков – С245 ГОСТ 8509-93.

Схема оснастки для испытания образцов I группы показана на рисунке 1.

Схема оснастки для испытания образцов II группы показана на рисунке 2.

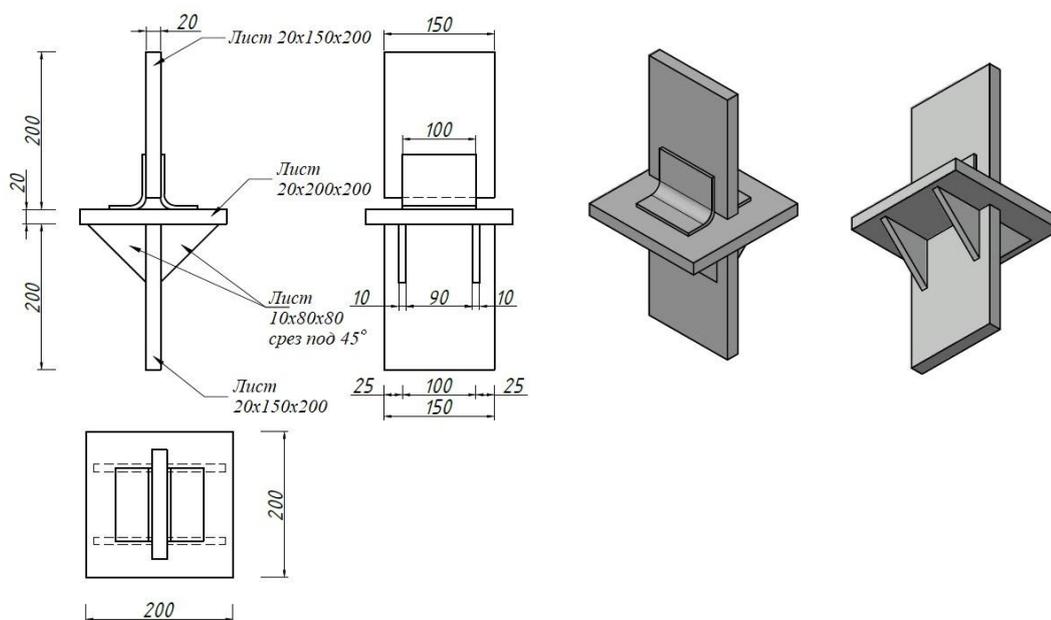


Рисунок 1 - Конструктивные параметры оснастки для испытания стальных элементов (гнуемые и прокатные уголки) на растяжение

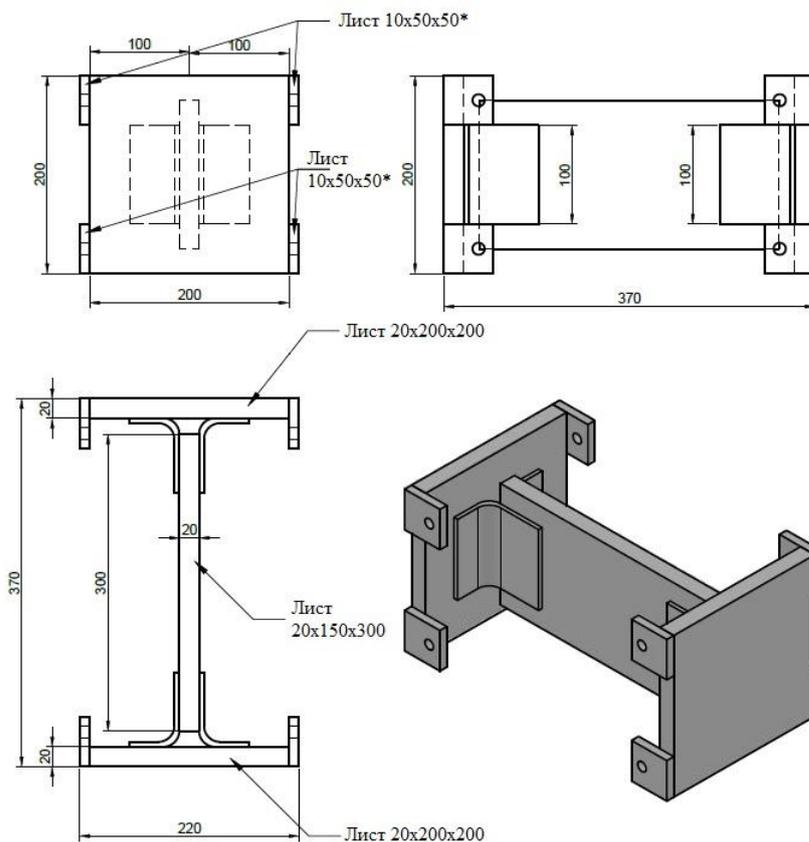


Рисунок 2 - Конструктивные параметры оснастки для испытания стальных элементов (гнуемые и прокатные уголки) на сдвиг

I группу испытаний опытных образцов проводили в напорной серво-гидравлической машине Instron 8802 (рисунок 3 а), создававшей растягивающие усилия в стыках.

Опытные образцы во II группе испытаний подвергались воздействию сжимающей нагрузки, которая передавалась с прессы универсальной испытательной машины Instron 1000 HDX (рисунок 3 б) на стальную балку. Посредством стальной балки сжимающая нагрузка

перераспределялась на опытный образец, вследствие чего в стыке возникали сдвигающие усилия.

Испытания образцов проводились статической нагрузкой до момента разрушения.



Рисунок 3 - Машины для испытаний: Instron 8802 (а), Instron 1000 HDX (б)

Нагружали образцы ступенями, увеличивая нагрузку через равные промежутки времени на постоянную величину, с выдержками для записи показаний индикаторов перемещений.

Опытные образцы I группы нагружали этапами по 3 кН, 5 кН, 10 кН, а именно: первый опытный образец из I группы с размерами 75x50x5 мм нагружался этапами по 10 кН, второй опытный образец из I группы с размерами 75x50x5 мм нагружался этапами по 5 кН, остальные опытные образцы из I группы нагружались по 3 кН. Опытные образцы II группы нагружали этапами по 30 кН с полной разгрузкой.

Перед началом экспериментальных исследований опытных образцов, были испытаны металлические уголки для определения основных характеристик стали.

С целью фиксации характера возникающих под нагрузкой деформаций опытных образцов на каждом этапе испытаний проводился визуальный осмотр.

Кроме того, замеряли усилия, соответствующие появлению первых деформаций в металлических уголках и сварных швах, пластических деформаций, а также разрушающие усилия.

Для измерения перемещений использовались цифровые индикаторы фирмы Micron типа ИЦ-50-0,01 с диапазоном измерения 0-50 мм и ценой деления $c = 0,01$ мм.

Цифровые индикаторы перемещений были установлены на опытные образцы таким образом, чтобы фиксировать перемещения в зоне изгиба уголков, согласно схемам на рисунке 4.

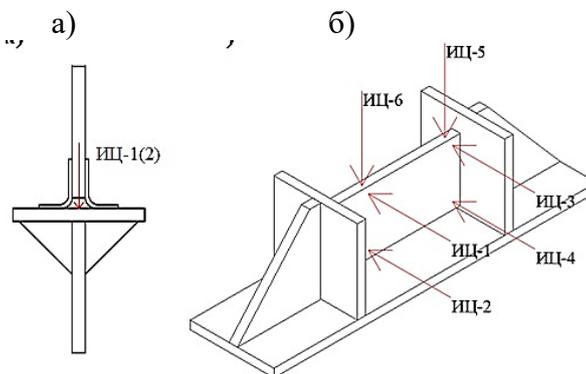


Рисунок 4 - Схема расположения цифровых индикаторов перемещения: при испытании на растяжение (а), при испытании на сдвиг (б)

2.2. Результаты испытаний и их анализ

Анализ результатов, полученных в ходе экспериментальных исследований, включал в себя определение основных параметров вертикальных стыков, необходимых для оценки их

несущей способности, а так же выявление показателей, характеризующих особенности работы опытных образцов в каждой серии испытаний.

Основанием для определения значений податливости опытных образцов послужили графики «нагрузка-перемещение» опытных образцов при растяжении и сдвиге. При построении графиков «нагрузка-перемещение» учитывались средние значения перемещений, полученные по индикаторам часового типа.

На рисунке 5 приведены графики «нагрузка-перемещение» опытных образцов с близкими по характеристикам накладками: прокатными и гнутыми уголками с размерами 75x50x6 мм, полученные на основании результатов испытаний на растяжение.

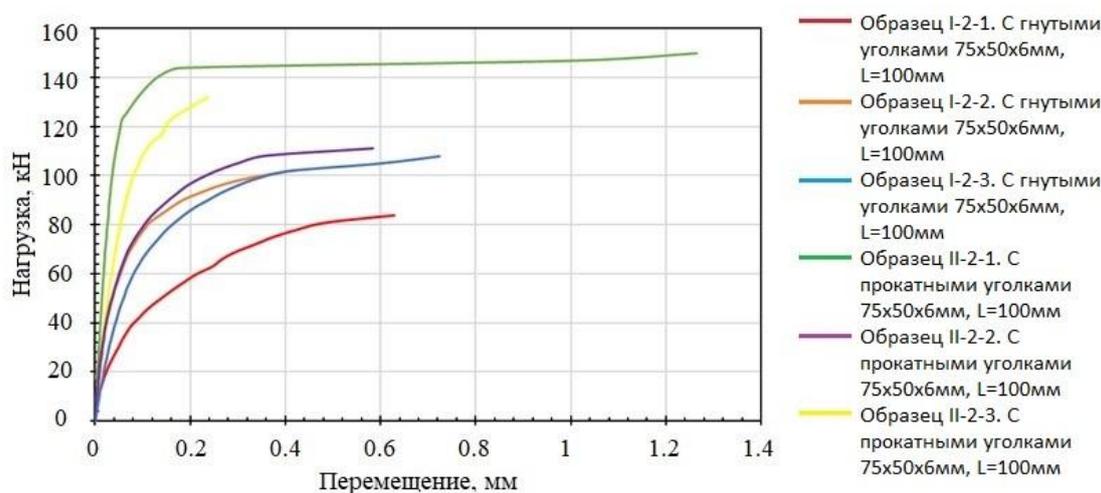


Рисунок 5 – Зависимости перемещения опытных образцов с гнутыми и прокатными уголками с размерами 75x50x6 мм от растягивающей нагрузки

В соответствии с графиками «нагрузка-перемещение» (рисунок 5), при испытании на растяжение, предел прочности опытных образцов II-2-1, II-2-2, II-2-3 с прокатными уголками 75x50x6 мм достигнут при более высоких нагрузках, по сравнению с опытными образцами I-2-1, I-2-2, I-2-3 с гнутыми уголками аналогичных размеров (в среднем в 1.33 раза). Рост остаточных деформаций для опытных образцов с прокатными уголками 75x50x6 мм так же зафиксирован при более высоких нагрузках (в среднем в 1.25 раза), которые составили 90 кН, 66 кН, 81 кН.

При испытании на растяжение, опытные образцы I-2-1 и I-2-3 с гнутыми уголками 75x50x6 мм разрушены при нагрузках 86.9 кН и 110.9 кН в результате достижения предела прочности сварных швов. Наблюдалось возникновение текучести соединительных элементов в зоне изгиба гнутых уголков, рост пластических деформаций зафиксирован при нагрузке 60 кН.

Опытный образец I-2-2 с гнутыми уголками 75x50x6 разрушен при нагрузке 104.5 кН, вследствие достижения напряжениями предела текучести в зоне изгиба уголка. Увеличение пластических деформаций в соединительном элементе опытного образца I-2-2 произошло при растягивающей нагрузке 69 кН.

Разрушение опытных образцов с прокатными уголками произошло по сварным швам для двух опытных образцов II-2-2, II-2-3 при нагрузках соответственно 114.0 кН и 138.9 кН, опытный образец II-2-2 разрушен при нагрузке 151.2 кН в результате роста напряжений в сварном шве и последующем разрыве сварного шва и металла соединительного элемента. Деформации в зоне изгиба прокатных уголков при растяжении отсутствуют.

На рисунке 6 представлены графики «нагрузка-перемещение», полученные при испытании опытных образцов с гнутыми уголками меньшей толщины, с размерами 75x50x5 мм на растяжение.

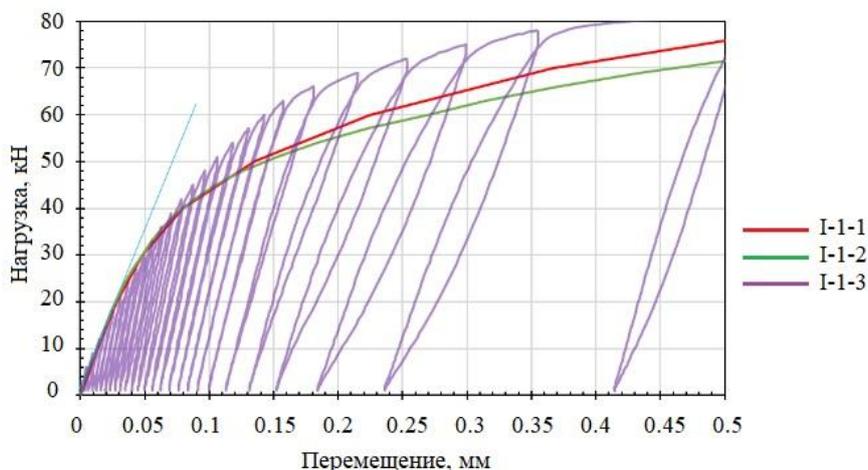


Рисунок 6 – Зависимости перемещения опытных образцов с гнутыми уголками с размерами 75x50x5 мм от растягивающей нагрузки

Опытные образцы I-1-1, I-1-2, I-1-3 с гнутыми уголками с размерами 75x50x5 мм, при испытании на растяжение достигли предела прочности при нагрузках соответственно 99.9 кН, 96.1 кН, 85.0 кН. Переход из упругой стадии работы в пластическую произошел при нагрузке 36.02 кН, что в среднем в 1.74 раза меньше нагрузки, соответствующей пределу упругости опытных образцов с гнутыми уголками 75x50x6 мм. Опытные образцы были разрушены вследствие достижения металлом в зонегиба предела текучести и последующего разрыва гнутых уголков по всей длинегиба. Также наблюдалось хрупкое разрушение участков сварного шва.

Общий вид опытных образцов после испытаний на растяжение представлен на рисунке 7.

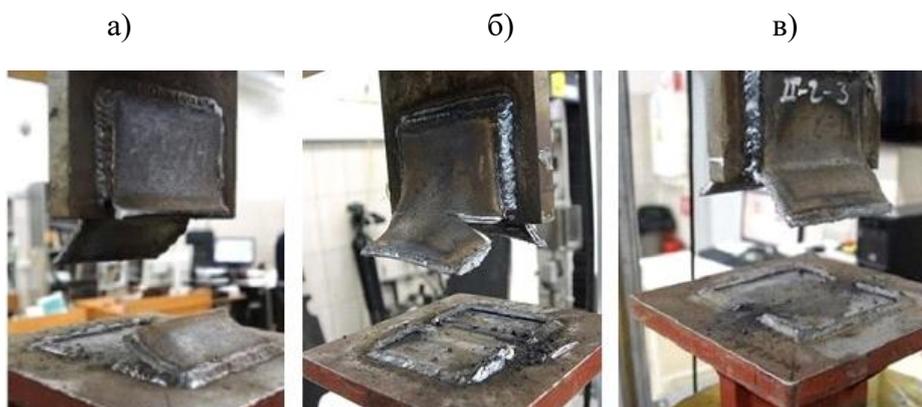


Рисунок 7 – Общий вид опытных образцов после испытаний на растяжение: с гнутыми уголками 75x50x5мм (а); с гнутыми уголками 75x50x6мм (б); с прокатными уголками 75x50x6мм (в)

Ниже приведены результаты испытания опытных образцов на сдвиг.

На рисунке 8 показаны графики «нагрузка-перемещение» опытных образцов, которые были испытаны на сдвиг.

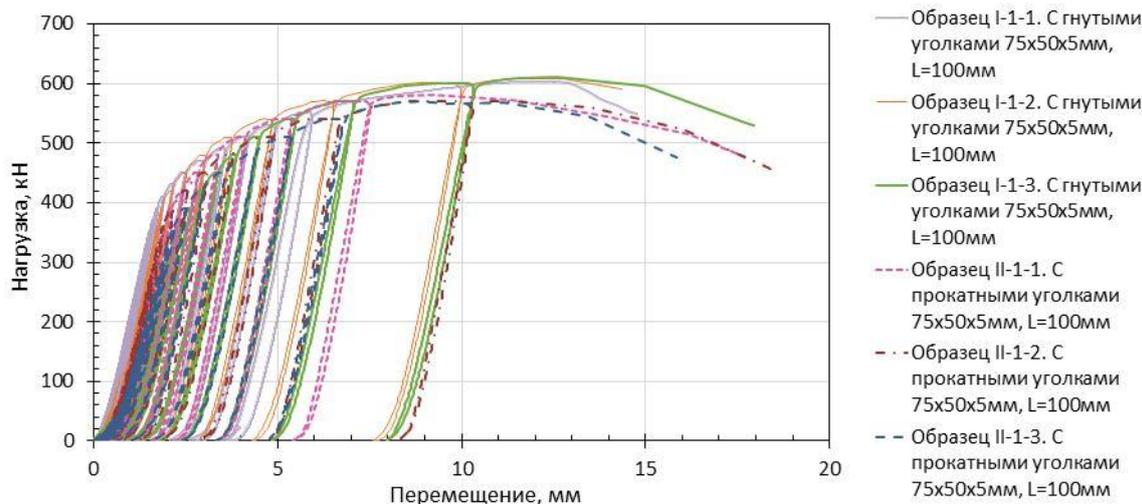


Рисунок 8 – Зависимости перемещения опытных образцов с гнутыми и прокатными уголками с размерами 75x50x5 мм от сдвигающей нагрузки

В результате испытаний на сдвиг, все опытные образцы II-1-1, II-1-2, II-1-3 с прокатными уголками 75x50x5 мм разрушены при более низких нагрузках (581.7 кН, 571.2 кН, 569.6 кН), по сравнению с опытными образцами I-1-1, I-1-2, I-1-3 с гнутыми уголками (602.9 кН, 608.0 кН, 610.4 кН) аналогичных размеров.

Характер деформирования опытных образцов с прокатными уголками и с гнутыми уголками при сдвиге существенно различен.

В опытных образцах II-1-1, II-1-2, II-1-3 с прокатными уголками, при нагрузке 360 кН, по причине перераспределения напряжений, происходит рост напряжений в сварных швах с последующим достижением предела прочности нижних сварных швов и разрывом полки уголка от нижней грани под 45° к направлению сдвигающей силы, при отсутствии деформаций в зоне изгиба прокатного уголка (рисунок 9 б).

В опытных образцах I-1-1, I-1-2, I-1-3 с гнутыми уголками, при увеличении вертикальной сдвигающей нагрузки соответственно до 406.5 кН, 450.1 кН, и 475.8 кН, в зоне изгиба гнутых уголков возникают пластические деформации, которые увеличиваются до разрушения опытных образцов при нагрузках 602.9 кН, 608 кН, 610.4 кН (рисунок 9 а).

Общий вид опытных образцов после испытаний на сдвиг представлен на рисунке 9.

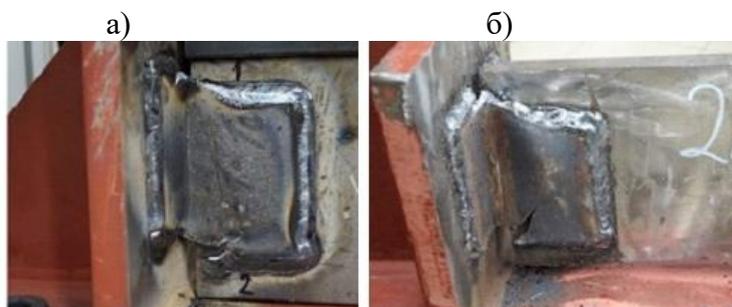


Рисунок 9 – Общий вид опытных образцов после испытаний на сдвиг: с гнутыми уголками 75x50x5мм (а); с прокатными уголками 75x50x5мм (б)

В зоне изгиба прокатных уголков имеется утолщение, поэтому прокатные уголки более прочные, по сравнению с гнутыми уголками (рисунок 10).

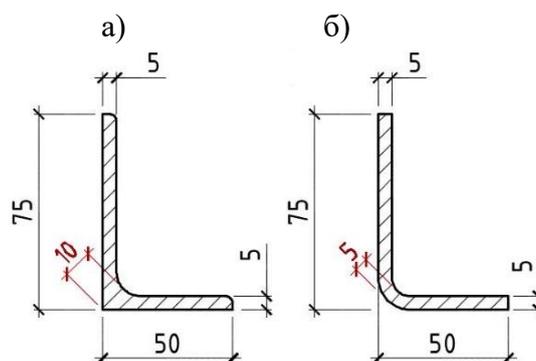


Рисунок 10 – Прокатный уголок (а), гнутый уголок (б)

Однако, результаты испытаний на сдвиг показали, что гнутые уголки способны находиться в пластично-деформированном состоянии и при этом сохранять целостность всего соединения, предотвращая стремительное разрушение сварных швов.

Характер разрушения опытных образцов зависел от вида металлического уголка (гнутой или прокатный) и вида нагружения (растяжение, либо сдвиг).

В ходе эксперимента для всех опытных образцов на диаграммах «Нагрузка-перемещение» выделены характерные стадии работы, и построены графики с соответствующими участками: упругое деформирование в зонегиба уголка и в сварном шве (OB), рост пластических деформаций в зоне сварного шва (BC), появление трещин в сварном шве (CD), рост трещин в сварном шве (DE), разрушение опытного образца по сварным швам и разрыв уголка (E).

Для примера, на рисунке 11 показан график с обозначением характерных стадий работы опытного образца с гнутыми уголками 75x50x5 мм, испытанного на растяжение.

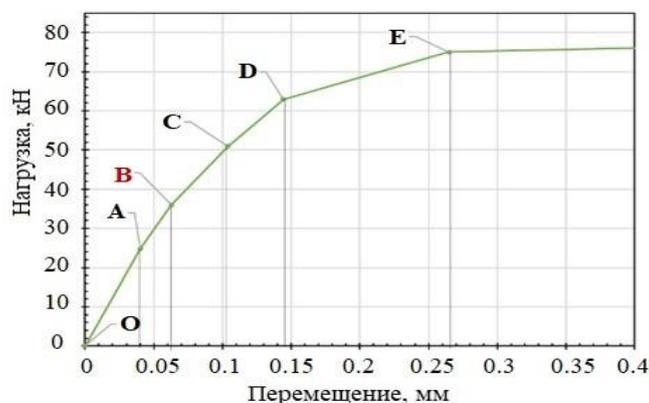


Рисунок 11 - Характерные точки графика «Нагрузка – перемещение» опытного образца с гнутыми уголками 75x50x5 мм при испытании на растяжение

В результате экспериментальных исследований опытных образцов при растяжении и сдвиге, выделены две стадии работы сварного вертикального стыка на закладных деталях с соединительным элементом в виде гнутого и прокатного уголков, что соответствует результатам других исследований вертикальных стыков [16-18].

На первом этапе, незначительные перемещения, фиксируемые в опытном образце, исчезают при снятии нагрузки, т.е вертикальный стык работает упруго.

Второй этап соответствует пластическому деформированию вертикального стыка и характеризуется ростом деформаций в зоне сварного шва и металле уголка.

Переход опытного образца из упругой стадии работы в стадию пластического деформирования соответствует точке В на графике рисунка 11.

Податливость, найденная из расчета по нагрузке и абсолютным перемещениям, соответствующим точке В, является расчетной.

Точка А характеризуется пределом пропорциональности. До точки А действует закон Гука, т.е деформации пропорциональны прикладываемому напряжению. При напряжениях, находящихся в диапазоне от предела пропорциональности в точке А до предела упругости в точке В, величина деформаций не пропорциональна прикладываемому напряжению, но после снятия напряжений деформации исчезают. За пределом упругости в точке В сохраняется остаточная деформация.

В соответствии с графиками зависимости «нагрузка-перемещение» были определены значения начальных и расчетных коэффициентов податливости. Найдены значения коэффициентов податливости при разрушающей нагрузке.

Полученные средние значения для опытных образцов, испытанных в каждой серии при растяжении и сдвиге, указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний опытных образцов с гнутыми и прокатными уголками

Конструкция стыка и вид нагружения	Несущая способность стыка, кН	Коэффициент податливости $\times 10^{-6}$ мм/Н		
		начальный $\lambda_{нач}$	расчетный $\lambda_{расч}$	при разрушении $\lambda_{раз}$
Вертикальный стык с гнутыми уголками 75x50x5 мм длиной 100 мм при растяжении	85,0	1,61	1,75	3,53
	607,1	1,61	2,52	12,1
Вертикальный стык с прокатными уголками 75x50x5 мм длиной 100 мм при сдвиге	574,16	2,61	1,69	8,5
Вертикальный стык с гнутыми уголками 75x50x6 мм длиной 100 мм при растяжении	100,8	1,21	1,99	5,0
Вертикальный стык с прокатными уголками 75x50x6 мм длиной 100 мм при растяжении	134,7	0,44	0,66	1,89

С целью анализа изменения податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков при растяжении и сдвиге на всех стадиях работы стыков до разрушения были построены графики «Податливость-относительная нагрузка», представленные на рисунке 12. Данные диаграмм получены для средних значений податливости опытных образцов в каждой серии.

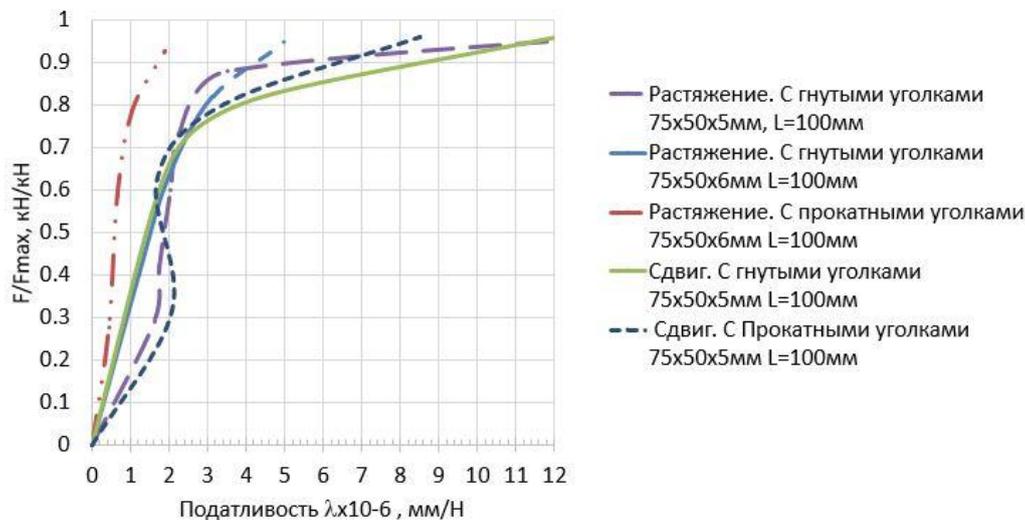


Рисунок 12 – Зависимости податливости опытных образцов от относительной нагрузки

В соответствии с графиками «Податливость-относительная нагрузка», изображенными на рисунке 12, с увеличением значения относительной нагрузки податливость опытных образцов с гнутыми и прокатными уголками при растяжении, а так же опытных образцов с гнутыми уголками при сдвиге - увеличивалась. Характер изменения податливости опытных образцов с прокатными уголками при сдвиге - неравномерный с увеличением нагрузки для всех образцов в серии. В стадии упругого деформирования до нагрузки $0.6 F_{разр.}$ податливость увеличивается линейно до предела пропорциональности при нагрузке $0.3 F_{разр.}$, при нагрузках от $0.3 F_{разр.}$ до $0.6 F_{разр.}$ значения податливости уменьшаются. С началом появления пластических деформаций в сварных швах при нагрузке $0.6 F_{разр.}$ и до разрушения податливость возрастает.

Ниже представлены результаты сравнительного анализа значений расчетных податливостей.

Величина расчетной податливости при растяжении опытных образцов с гнутыми уголками $75 \times 50 \times 6$ мм больше величины расчетной податливости опытных образцов с прокатными уголками $75 \times 50 \times 6$ мм в 3.015 раза.

Значение расчетной податливости при сдвиге опытных образцов с гнутыми уголками $75 \times 50 \times 5$ мм больше расчетной податливости опытных образцов с прокатными уголками $75 \times 50 \times 5$ мм в 1.49 раз.

Расчетная податливость при сдвиге опытных образцов с гнутыми уголками $75 \times 50 \times 5$ мм превышает значение расчетной податливости при растяжении опытных образцов с гнутыми уголками $75 \times 50 \times 5$ мм в 1.44 раза.

На рисунке 13 показаны гистограммы значений расчетных податливостей для опытных образцов с гнутыми и прокатными уголками при растяжении и сдвиге.

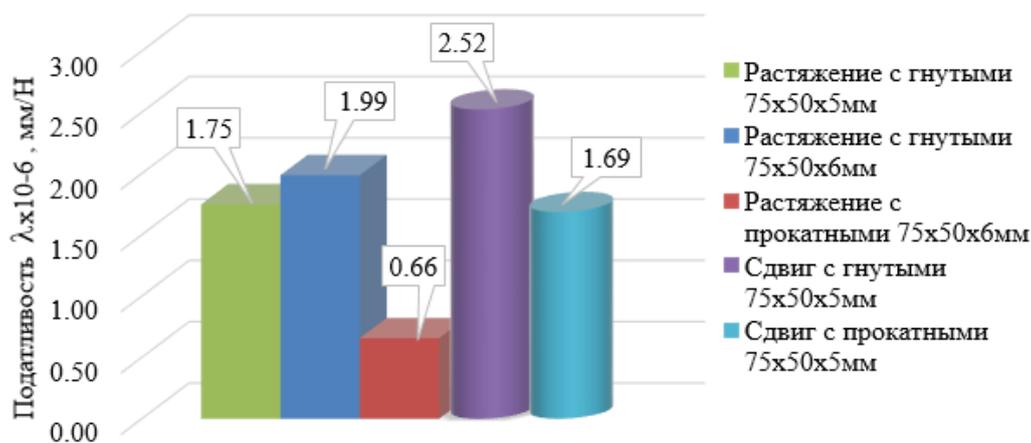


Рисунок 13 – Сравнительный анализ значений податливости

2.3. Поправочные коэффициенты к аналитическому расчету податливости

Ниже приведен расчет поправочных коэффициентов, которые вводятся к уровню податливости соединительных элементов в виде стандартного прокатного уголка при растяжении и сдвиге и формируют повышенную податливость соединения в вертикальном стыке при применении гнутых уголков вместо прокатных.

Применение данных коэффициентов позволяет выполнить общий расчет крупнопанельного здания со сварными вертикальными стыками на закладных деталях с гнутыми уголками.

Коэффициенты рассчитаны как отношение расчетных значений податливостей опытных образцов с близкими по характеристикам накладками: гнутыми и прокатными уголками.

При растяжении

$$k_{\text{раст.}} = \frac{\lambda_{\text{раст.зн.}}}{\lambda_{\text{раст.пр.}}} = \frac{1.99 \cdot 10^{-6} \text{ мм / Н}}{0.66 \cdot 10^{-6} \text{ мм / Н}} = 3.02$$

где $\lambda_{\text{раст.зн.}}$ - расчетная податливость соединительных элементов вертикального стыка с гнутым уголком 75x50x6 мм, L=100 мм при растяжении;

$\lambda_{\text{раст.пр.}}$ - расчетная податливость соединительных элементов вертикального стыка с прокатным уголком 75x50x6 мм, L=100 мм при растяжении.

При сдвиге

$$k_{\text{сдвиг}} = \frac{\lambda_{\text{сдвиг.зн.}}}{\lambda_{\text{сдвиг.пр.}}} = \frac{2.52 \cdot 10^{-6} \text{ мм / Н}}{1.69 \cdot 10^{-6} \text{ мм / Н}} = 1.49$$

где $\lambda_{\text{сдвиг.зн.}}$ - расчетная податливость соединительных элементов вертикального стыка с гнутым уголком 75x50x5 мм, L=100 мм при сдвиге;

$\lambda_{\text{сдвиг.пр.}}$ - расчетная податливость соединительных элементов вертикального стыка с прокатным уголком 75x50x5 мм, L=100 мм при сдвиге.

3. Выводы

1. Определены характер разрушения и параметры сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков при растяжении и сдвиге, необходимые для расчета и проектирования крупнопанельных зданий.

2. Выявлено, что характер разрушения опытных образцов зависит от вида металлического уголка (гнутой или прокатной) и вида нагружения (растяжение, либо сдвиг).

3. Определено, что при растяжении опытные образцы с прокатными уголками разрушаются при более высоких нагрузках, по сравнению с опытными образцами с гнутыми уголками.

4. При воздействии сдвигающей нагрузки, гнутые уголки способны находиться в пластично-деформированном состоянии, и при этом сохранять целостность всего соединения, предотвращая стремительное разрушение сварных швов. Соединения с гнутыми уголками разрушаются при более высоких значениях сдвигающей нагрузки, по сравнению с соединениями с прокатными уголками.

5. Приведены графики «нагрузка-перемещение» опытных образцов при растяжении и сдвиге, которые послужили основанием для определения значений податливости опытных образцов, а также для построения сопоставительных графиков и гистограмм по податливостям.

6. Найдены экспериментальные значения податливости соединительных элементов вертикального стыка на закладных деталях в виде гнутых и прокатных уголков для всех стадий работы стыков, проанализированы графики зависимости значений податливости от относительной нагрузки.

7. Выполнен сравнительный анализ расчетных значений податливости для соединительных элементов вертикального стыка на закладных деталях в виде гнутых и прокатных уголков при растягивающей и сдвигающей нагрузке, соответствующей переходу стыка из упругой стадии работы в стадию пластического деформирования.

8. Вычислены и предложены поправочные коэффициенты для сопоставления податливости соединительных элементов в виде прокатных и гнутых уголков вертикального стыка на закладных деталях.

Применение данных коэффициентов позволяет выполнить общий расчет крупнопанельного здания со сварными вертикальными стыками на закладных деталях с гнутыми уголками.

9. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение напряженно-деформированного состояния крупнопанельных зданий повышенной этажности с полученными экспериментальными значениями податливости соединительных элементов вертикальных стыков при различных ветровых воздействиях.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2021-686). Испытания проведены на оборудовании Головного регионального центра коллективного пользования научным оборудованием и установками Национального исследовательского Московского государственного строительного университета.

Благодарность

Автор выражает благодарность профессору, д.т.н. Кабанцеву О.В. за научное консультирование, а также коллективу экспертно-диагностической испытательной лаборатории строительных конструкций Научно-Исследовательского Института Экспериментальной Механики (НИИЭМ) НИУ МГСУ за участие в подготовке опытных образцов и проведении экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малахова А.Н., Маринина Д.А. Податливость вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 6 (86). С. 10-16.
2. Горачек Е., Лишак В.И., Пуме Д., Драгилов И.И., Камейко В.А., Морозов Н.В., Цимблер В.Г. Прочность и жесткость стыковых соединений крупнопанельных конструкций. Опыт СССР. Москва: Стройиздат, 1980. 191 с.
3. СП 335.1325800.2017. Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования.
4. Пособие по проектированию жилых зданий Вып. 3 Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85).
5. Миронова Ю.В., Абдрахимова Н.С., Халиуллин А.Р. Повышение сопротивляемости несущей системы бескаркасного здания с бессварными вертикальными стыками прогрессирующему разрушению // *Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 4 (38). С. 229-235.
6. Митасов В.М., Пантелеев Н.Н. Экспериментальные исследования новой конструкции стыка стеновых панелей с перекрытием в крупнопанельных зданиях // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2014. № 12(672). С. 5-12.
7. Николаев С.В. Крупнопанельное домостроение – общие вопросы // *Жилищное строительство*. 2012. № 4. С. 4-24.
8. Чистяков Е.А., Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Учет податливости стыковых соединений дискретного типа в расчетах конструктивных систем крупнопанельных зданий – *Academia // Архитектура и строительство*. 2017. № 2. С.123-127.
9. Li H., Shi G. Material Modeling of Concrete for the Numerical Simulation of Steel Plate Reinforced Concrete Panels Subjected to Impacting Loading // *Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME*. 2017. № 139. Pp. 351-366.
10. Yuniarsya E., Kono S., Tani M., Taleb R., Watanabe H., Obara T., Mukai T. Experimental study of lightly reinforced concrete walls upgraded with various schemes under seismic loading // *Engineering Structures*. 2017. № 138. С. 131-145.
11. Malakhova A.N., Davletbaeva D.A. The consideration of compliance of structural joints in calculation of large panel buildings // XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019), Tashkent, Uzbekistan. E3S Web of Conferences 97, 04010 (2019), Volume 97. doi:https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704010.
12. Malakhova A.N. Davletbaeva D.A. The consideration of complince of structural joints in the numerical calculation of large-panel buildings // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1425 012081. doi:https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012081
13. Володин Н.М., Кашеев Г.В. Определение податливости на сдвиг соединений между сборными элементами каркасно-панельных зданий // *Исследования конструкций крупнопанельных зданий*. Москва: Стройиздат, 1981. С. 71-80.

14. Данель В.В., Кузьменко И.Н. Жесткости стыков крупнопанельных зданий: анализ формул, рекомендации по их уточнению и использованию в конечноэлементных моделях // Актуальные проблемы исследований по теории сооружений. Сборник научных статей. Часть 2. Москва: ЦНИИСК им. Кучеренко, 2009. С. 261 - 273.
15. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Анализ существующих методов оценки податливости связей крупнопанельных зданий // Бетон и железобетон. 2016. № 3. С. 27-29.
16. 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». Т 21. № 3. С. 13-22.
17. 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. 2. № 12. Pp. 217–222.
18. Biswal A. Prasad A.M., Sengupta A.K. Study of shear behavior of grouted vertical joints between precast concrete wall panels under direct shear loading // Struct. Concr. 2019. V. 20. № 2. P. 564–582.

REFERENCES

1. Malakhova A.N., Marinina D.A. Podatlivost' vertikal'nykh stykov krupnpanel'nykh zdaniĭ na zakladnykh detaliakh [The compliance of vertical joints of large-panel buildings made on embedded parts] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiia. 2019. No. 6 (86). Pp. 10-16. (rus)
2. Gorachek E., Lishak V.I., Pume D., Dragilov I.I., Kameĭko V.A., Morozov N.V., TSimbler V.G. Prochnost' i zhestkost' stykovykh soedinenĭ krupnpanel'nykh konstruksii. Opyt SSSR [Strength and rigidity of butt joints of large-panel structures. USSR experience.]. Moskva: Stroĭzdat, 1980. 191 p. (rus)
3. SP 335.1325800.2017. Krupnpanel'nye konstruktivnye sistemy. Pravila proektirovaniia [Large-panel structural systems]. (rus)
4. Posobie po proektirovaniu zhilykh zdaniĭ Vyp. 3 Konstruktsii zhilykh zdaniĭ (k SNIp 2.08.01-85) [Manual for the design of residential buildings Vol. 3 Structures of residential buildings]. (rus)
5. Mironova I.U.V., Abdrakhimova N.S., KHaliullin A.R. Povyshenie soprotivliaemosti nesushcheĭ sistemy beskarkasnogo zdaniia s bessvarnymi vertikal'nymi stykami progressiruiushchemu razrusheniui [Improving the resistance of the supporting system of a frameless building with non-welded vertical joints to progressive destruction] // Izvestiia kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2016. No. 4 (38). Pp. 229-235. (rus)
6. Mitasov V.M., Panteleev N.N. Ėksperimental'nye issledovaniia novoi konstruktsii styka stenovykh panelei s perekrytiem v krupnpanel'nykh zdaniiax [Experimental studies of a new design of the joint between wall panels and ceilings in large-panel buildings] // Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedeniĭ. Stroitel'stvo. 2014. No. 12(672). Pp. 5-12. (rus)
7. Nikolaev S.V. Krupnpanel'noe domostroenie – obshchie voprosy [Large-panel housing construction - general issues] // ZHilishchnoe stroitel'stvo. 2012. No. 4. Pp. 4-24. (rus)
8. CHistiakov E.A., Zenin S.A., SHaripov R.SH., Kudinov O.V. Uchet podatlivosti stykovykh soedinenĭ diskretnogo tipa v raschetakh konstruktivnykh sistem krupnpanel'nykh zdaniĭ – Academia [Accounting for the flexibility of butt joints of a discrete type in the calculations of structural systems of large-panel buildings] // Arkhitektura i stroitel'stvo. 2017. No. 2. Pp. 123-127. (rus)
9. Li H., Shi G. Material Modeling of Concrete for the Numerical Simulation of Steel Plate Reinforced Concrete Panels Subjected to Impacting Loading // Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME. 2017. No. 139. Pp. 351-366.
10. Yuniarsya E., Kono S., Tani M., Taleb R., Watanabe H., Obara T., Mukai T. Experimental study of lightly reinforced concrete walls upgraded with various schemes under seismic loading // Engineering Structures. 2017. No. 138. Pp. 131-145.
11. Malakhova A.N., Davletbaeva D.A. The consideration of compliance of structural joints in calculation of large panel buildings // XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019), Tashkent, Uzbekistan. E3S Web of Conferences 97, 04010 (2019), Vol. 97. doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704010>.
12. Malakhova A.N., Davletbaeva D.A. The consideration of complince of structural joints in the numerical calculation of large-panel buildings // Journal of Physics: Conference Series. 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1425 012081. doi:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012081/>
13. Volodin N.M., Kashcheev G.V. Opredelenie podatlivosti na sdvig soedinenĭ mezhdu sbornymi ėlementami karkasno-panel'nykh zdaniĭ [Determination of compliance with shear joints between prefabricated elements of frame-panel buildings] // Issledovaniia konstruksii krupnpanel'nykh zdaniĭ. Moskva: Stroĭzdat, 1981. Pp. 71-80. (rus)
14. Danel' V.V., Kuz'menko I.N. Zhestkosti stykov krupnpanel'nykh zdaniĭ: analiz formul, rekomendatsii po ikh utochneniiu i ispol'zovaniui v konechnoėlementnykh modeliakh [Joint stiffness of large-panel buildings: analysis of formulas, recommendations for their refinement and use in finite element models] // Aktual'nye problemy issledovaniĭ po teorii sooruzhenĭ. Sbornik nauchnykh stateĭ. CHast' 2. Moskva: TSNIISK im. Kucherenko, 2009. Pp. 261 - 273. (rus)

15. Zenin S.A., SHaripov R.SH., Kudinov O.V. Analiz sushchestvuiushchikh metodov otsenki podatlivosti svyazei krupnopanel'nykh zdaniy [Analysis of existing methods for assessing the compliance of connections of large-panel buildings] // Beton i zhelezobeton. 2016. No. 3. Pp. 27-29. (rus)
16. Derbentsev I.S., Tarasov M.V., Kariakin A.A. Naturnye ispytaniia vertikal'nykh shponochnykh stykov zhelezobetonnykh stenovykh panelei s petlevymi gibkimi svyaziami na sdvig [Field tests of vertical keyed joints of reinforced concrete wall panels with flexible loop ties for shear] // Vestnik IUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura». T. 21. No. 3. Pp. 13-22. (rus)
17. 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. 2. No. 12. Pp. 217–222.
18. Biswal A. Prasad A.M., Sengupta A.K. Study of shear behavior of grouted vertical joints between precast concrete wall panels under direct shear loading // Struct. Concr. 2019. V. 20. No. 2. Pp. 564–582.

Информация об авторе:

Маринина Дарья Александровна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: davletbaevadasha@mail.ru

Information about author:

Marinina Daria Al.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,
postgraduate student of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: davletbaevadasha@mail.ru