

На правах рукописи



Маринина Дарья Александровна

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ
НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ
ЗДАНИЙ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЫКАМИ НА
ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЯХ С ГНУТЫМИ УГОЛКАМИ**

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Научный руководитель: **Малахова Анна Николаевна**
кандидат технических наук, доцент

Официальные
оппоненты: **Меркулов Сергей Иванович**
доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Промышленное и гражданское
строительство» ФГБОУ ВО
«Курский государственный
университет»

Зенин Сергей Алексеевич
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией теории
железобетона и конструктивных
систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева,
АО «НИЦ «Строительство»

Ведущая организация: Федеральное государственное
образовательное учреждение
высшего образования «Брянский
государственный инженерно-
технологический университет»,
ФГБОУ ВО «БГИТУ»

Защита состоится «30» января 2025 г., в 11:00 часов на заседании диссертационного совета 75.1.078.01 на базе Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий» по адресу: 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, дом 46, корп.2., ауд. 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте АО «ЦНИИПромзданий», www.cniipz.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Терехов Иван Александрович

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В конструкции сварных вертикальных стыков многоэтажных крупнопанельных зданий наибольшее распространение получили закладные детали с соединительными элементами из фасонного уголкового проката.

В настоящее время получило распространение конструктивное решение сварных вертикальных стыков с соединительными элементами в виде гнутых уголков, в том числе уголков, гнутых в построечных условиях из металлических пластин, как более технологичных в изготовлении и универсальности применения. Это связано с тем, что в таких накладках возможна коррекция их геометрии в построечных условиях, когда перпендикулярность сопряжения стеновых панелей здания обеспечивается с определенным допуском.

Практика применения таких вертикальных стыков при возведении крупнопанельных зданий показывает, что гнутые уголки характеризуются большей деформативностью, чем прокатные. Кроме того, в условиях строительной площадки не всегда удается соблюдать строго необходимые геометрические параметры закладных деталей. Эти факторы существенно сказываются на общей деформативности крупнопанельного здания. Учитывая общую тенденцию к увеличению этажности зданий исследования для обоснованного применения сварных вертикальных стыков с соединительными элементами в виде гнутых уголков являются актуальными.

Степень разработанности темы диссертации.

Исследованиями стыков панельных зданий занимались отечественные и зарубежные ученые: Е. Горачек, В.В. Данель, И.И. Драгилов, В.А. Камейко, Г.В. Кашеев, Н.В. Морозов, Д. Пуме, В.Г. Цимблер, В. Chatveera, В.С. Jensen, А. Jackson, W. Hanson, J.P. Vella, R.L. Vollum, и др. Существенный вклад в разработку методик расчета панельных зданий внесли ученые: П.Ф. Дроздов, Ю.А. Дыховичный, В.И. Лишак, Л.Л. Паньшин, А.Р. Ржаницын, Г.А. Шапиро и др. В настоящее время предлагаются и исследуются новые конструктивные решения стыков для крупнопанельных зданий, разрабатываются методики по их расчету. Но для сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами из гнутых металлических уголков отсутствует

общепринятая методика расчета и конструктивные требования к выполнению стыка. Следует отметить, что для выполнения статического расчета крупнопанельных зданий необходимо располагать сведениями о податливости всех стыков здания. Податливость стыков оказывает влияние на НДС несущих элементов крупнопанельных конструктивных систем.

Цель диссертационной работы. Целью диссертационной работы является разработка методики расчета податливости сварных вертикальных стыков несущих конструкций крупнопанельных зданий на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых уголков.

Применение данной методики позволит выполнять общий расчет крупнопанельного здания с вертикальными стыками на закладных деталях с гнутыми уголками, который в настоящее время не регламентируется действующими нормами по проектированию крупнопанельных конструктивных систем.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих конструктивных решений вертикальных стыков несущих конструкций крупнопанельных зданий, методик расчета податливости вертикальных стыков, обзор существующих подходов к расчету крупнопанельных конструктивных систем.

2. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния сварных вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков при горизонтальном растягивающем и вертикальном сдвигающем воздействии.

3. Сравнительный анализ значений податливости стыков с различными конструктивными параметрами соединительных элементов и видом напряженно-деформированного состояния, определенных по результатам экспериментальных исследований.

4. Разработка методики расчета податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых уголков на основе анализа результатов экспериментов.

5. Исследование напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и стыков крупнопанельного здания

повышенной этажности с учетом повышенной податливости сварных вертикальных стыков.

6. Обоснование конструктивных параметров сварных вертикальных стыков несущих конструкций крупнопанельных зданий на закладных деталях с гнутыми уголками.

Объект исследования - крупнопанельные здания повышенной этажности со сварными вертикальными стыками на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых уголков.

Предмет исследования - податливость сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых уголков.

Научно-техническая гипотеза:

Предполагается, что закладные детали вертикальных стыков крупнопанельного здания с гнутыми уголками обладают повышенной деформативностью по сравнению с закладными деталями с соединительными элементами из прокатных уголков вследствие различия геометрических характеристик и конструктивных решений, что приводит к изменению напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и стыков крупнопанельного здания.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. На основе теоретического анализа обоснованы различия в методах расчета податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях и установлены новые зависимости для сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми уголками.

2. Экспериментально получены характеристики сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми и прокатными уголками в виде зависимости перемещений от величины вертикальной и горизонтальной статической нагрузки.

3. Вычислены значения податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми уголками, а также представлены результаты их сравнительного анализа.

4. Установлены экспериментально обоснованные различия в механизме разрушения и деформирования сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков.

5. Экспериментально установлено, что гнутые уголки, из-за повышенной пластичности, увеличивают работоспособность

сварных вертикальных стыков на закладных деталях при сдвиге по сравнению с прокатными уголками, поскольку перераспределяют напряжения в стыке, предотвращая возникновение предельных концентраций напряжений в сварных швах и разрушение сварных швов.

6. Разработана методика расчета податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми уголками для различных видов напряженного состояния, позволяющая выполнять общий расчет здания с вертикальными стыками на закладных деталях с гнутыми уголками.

7. Получены результаты численного исследования напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и стыков на примере крупнопанельного 25-этажного здания с вертикальными стыками на закладных деталях с гнутыми уголками с учетом полученных значений податливости.

Теоретическая значимость диссертационной работы.

1. Разработана методика определения податливости вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми уголками для использования в расчетном анализе напряженно-деформированного состояния крупнопанельных зданий.

2. Установлены закономерности упругопластического деформирования соединительных элементов в виде гнутых и прокатных уголков в вертикальных стыках крупнопанельных зданий при различном напряженно-деформированном состоянии конструкций.

Практическая значимость диссертационной работы.

1. По предлагаемой методике расчета податливости сварных вертикальных стыков несущих конструкций крупнопанельных зданий на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых уголков разработана программа «New displacement» для автоматизации расчетов податливости стыков.

2. Установлены область применения и конструктивные параметры сварных вертикальных стыков несущих элементов крупнопанельных зданий на закладных деталях с гнутыми и прокатными уголками.

Теоретическая и методологическая основа исследования. В работе применены рекомендуемые современными отечественными нормами проектирования способы расчета податливости стыков,

основанные на методах теории упругости и методах строительной механики, в том числе реализованные на основе метода конечных элементов с учетом особенностей работы сборного железобетона. Компьютерное моделирование выполнялось в программных комплексах SCAD office и ЛИРА-САПР. Результаты теоретических исследований подтверждались удовлетворительной сходимостью с экспериментальными данными.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния закладных деталей вертикальных стыков несущих конструкций крупнопанельного здания с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков.

2. Методику расчета податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми уголками.

3. Результаты сравнительного анализа податливости сварного вертикального стыка несущих конструкций крупнопанельного здания на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков.

4. Результаты исследования напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и стыков крупнопанельного здания повышенной этажности с полученными значениями податливости сварных вертикальных стыков.

5. Предложения по области применения и конструктивным параметрам сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми уголками в крупнопанельных зданиях.

Достоверность результатов исследований основывается на использовании базовых гипотез строительной механики, теории упругости и теории железобетона; удовлетворительной сходимости полученных экспериментальных данных с результатами численных исследований.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях в 2017 – 2019 годах:

– XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых - «Строительство — формирование среды жизнедеятельности» (26–28 апреля 2017 г., Москва);

–The International Conference «Modelling and Methods of Structural Analysis» (MMSA-2019).

Также результаты работы докладывались на заседании секции «Кирпичные, блочные, панельные здания» НТС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» 17.09.2020 г.

Публикации. Материалы диссертации отражены в 12 статьях, из них 3 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 2 статьи - Scopus. Предложенная автором компьютерная программа, позволяющая находить значения податливости вертикальных стыков на закладных деталях, защищена свидетельством о государственной регистрации № 2020613860 от 23.03.2020 года.

Структура диссертации. Диссертация состоит из Введения, 4 глав, Заключение, Списка литературы и 3 Приложений. Общий объем работы – 197 страниц, включая 85 рисунков и 30 таблиц, 17 страниц приложений. Количество источников использованной литературы – 150 шт., в том числе 39 шт. зарубежных источников.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности: в соответствии с формулой специальности 2.1.1. «Строительные конструкции, здания и сооружения» в диссертации выполнены исследования и разработка в области расчета и конструирования сварного вертикального стыка на закладных деталях с соединительным элементом в виде гнutoго уголка, обеспечивающие повышение эффективности в оценке напряженно-деформированного состояния крупнопанельных зданий с данным конструктивным решением. Полученные в диссертационном исследовании результаты соответствуют паспорту специальности в части:

«Создание и развитие эффективных методов расчета и экспериментальных исследований вновь возводимых, восстанавливаемых и усиливаемых строительных конструкций, наиболее полно учитывающих специфику воздействий на них, свойства материалов, специфику конструктивных решений и другие особенности».

Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании экспертно-диагностической испытательной лаборатории строительных конструкций Научно-Исследовательского Института Экспериментальной Механики (НИИЭМ) НИУ МГСУ.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, приведены цель и задачи исследования, положения, составляющие научную новизну работы, практическая значимость работы.

В первой главе приведен обзор научной и технической литературы по теме диссертации. Предложена классификация сварных вертикальных стыков на закладных деталях, рассмотрены этапы развития методов расчета стыков крупнопанельных зданий с учетом податливости и подробно – податливость и конструктивные решения сварных вертикальных стыков на закладных деталях, их проектирование и методы испытаний.

Выполненный обзор показал, что податливость исследуемого стыка зависит от трудно оцениваемых факторов: деформации закладных, соединительных деталей и сварных швов между ними, что требует выполнения экспериментальных исследований со статистической обработкой результатов, а также что существующие методики расчета податливости исследуемого стыка даны в общем виде и не учитывают вид соединительного элемента (металлическая пластина, гнутый или прокатный уголок). Обзор позволил определить основные направления исследования, актуальность и практическую значимость работы.

Во второй главе приведены результаты анализа методик определения податливости, как частных, содержащихся в научных статьях, так и приведенных в нормативной литературе и применимых для определения податливости сварных вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков.

Выполняется постановка и решение задач объемного математического моделирования сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми и прокатными уголками с использованием МКЭ, реализованного в ПК SCAD office 21.1.9.7. Выполняется оценка напряженно-деформированного состояния стыков с гнутыми и прокатными уголками.

Объектом настоящего исследования выбран вертикальный Т-образный стык несущих конструкций крупнопанельного здания с соединением закладных деталей при помощи гнутого металлического уголка на сварке (рисунок 1).

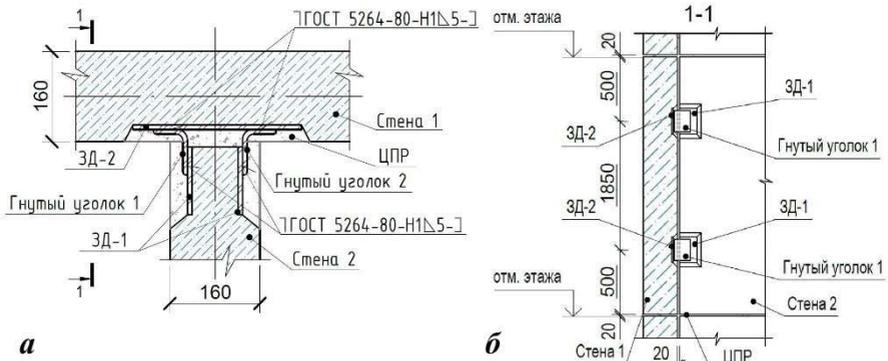


Рисунок 1– Сварной вертикальный стык на закладных деталях с гнутыми уголками (а), сварной вертикальный стык на закладных деталях с гнутыми уголками в пределах этажа (б)

Применительно к расчету сварных вертикальных стыков на закладных деталях в диссертационном исследовании были выделены два подхода к определению податливости:

1. Основная аналитическая модель, изложенная в нормативной литературе для определения податливости различных стыков;
2. Расчет податливости с использованием метода перемещений, применяемый при проектировании стальных закладных деталей для железобетонных конструкций для прочностных расчетов.

Согласно основной аналитической модели, податливость сварных вертикальных стыков на закладных деталях можно определить через податливость закладных деталей сопрягаемых стеновых панелей $\lambda_{з.д.1}$, $\lambda_{з.д.2}$, податливость соединительного элемента: $\lambda_{с.эл.}$ и податливость сварных швов $\lambda_{св.шв.}$:

$$\lambda = \lambda_{з.д.1} + \lambda_{з.д.2} + \lambda_{с.э.} + \lambda_{св.шв.} \quad (1)$$

Податливость $\lambda_{з.д.1}$, $\lambda_{з.д.2}$ зависит от расположения стержней закладных деталей относительно направления сдвига, модуля деформации бетона панели E_b , диаметра анкерных стержней d_s , а также количества n_s анкерных стержней в закладной детали.

Расчет податливости по методу перемещений, реализованный в диссертационной работе, основывается на методике прочностного расчета закладных деталей для железобетонных конструкций.

Перемещение соединительной детали в рассматриваемом стыке определяется по закону Гука:

$$F = k \cdot \Delta x \quad (2)$$

где F – сила упругости; k – жесткость; Δx – деформация.

Податливость (перемещение) определяется при действии на закладную деталь вертикальной сдвигающей силы и отдельно – при действии на нее нормальной отрывающей силы (рисунок 2).

При расчете учитывается толщина уголка в сечении, ортогональном действующей нагрузке.

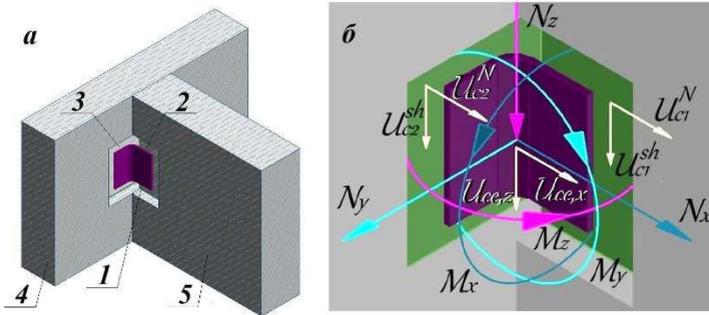


Рисунок 2 – Фрагмент вертикального стыка (а); схема расчета податливости вертикального стыка методом перемещений (б). 1 – соединительный элемент, 2, 3 – закладные детали 4, 5 – стеновые панели.

Полное перемещение в направлении вертикальных нагрузок:

$$\sum u_1 = u_{c1}^{sh} + u_{c2}^{sh} + u_{ce,z}, \quad (3)$$

где u_{c1}^{sh}, u_{c2}^{sh} – перемещения закладной детали 1 и 2 соответственно в направлении действия сдвигающей нагрузки, $u_{ce,z}$ – то же для уголка.

Податливость вертикального стыка от сдвигающей нагрузки:

$$\lambda_z = \frac{\sum u_1}{N_z}, \quad (4)$$

где N_z – сдвигающая нагрузка.

Полное перемещение в направлении горизонтального усилия:

$$\sum u_2 = u_{c1}^N + u_{c2}^N + u_{ce,x}, \quad (5)$$

где u_{c1}^N, u_{c2}^N - перемещения в направлении растягивающей нагрузки, $u_{ce,x}$ - то же уголка.

Податливость стыка от растягивающей нагрузки:

$$\lambda_x = \frac{\sum u_2}{N_x} \quad (6)$$

В результате численного моделирования в ПК SCAD сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми и прокатными уголками выявлено, что концентрация напряжений в соединительном элементе в виде гнутого уголка сосредоточена в верхней части изгиба уголка, в то время как в прокатном уголке наиболее высокая концентрация напряжений находится в нижней части соединительного элемента, в том числе в нижних сварных соединениях прокатного уголка и закладной детали (рисунок 3). Напряжения σ_x в стыке с прокатными уголками выше напряжений в стыке с гнутыми уголками на 2,97 %.

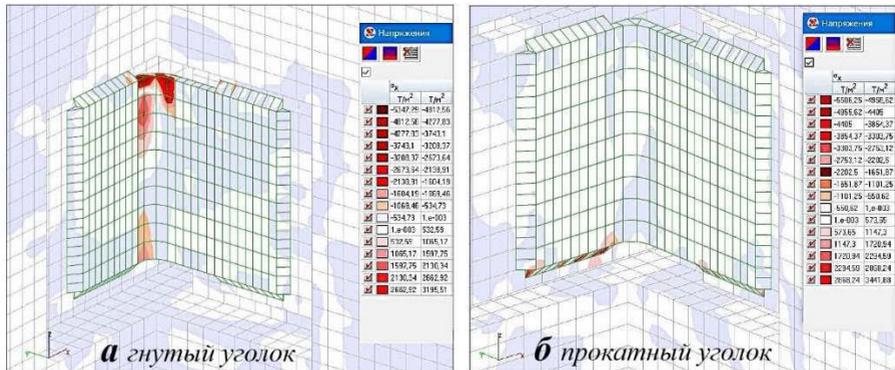


Рисунок 3– Напряжения σ_x в вертикальном стыке на закладных деталях: с гнутыми уголками (а), с прокатными уголками (б)

Поскольку численно выявлена различная картина НДС для стыков с гнутыми и прокатными уголками, сделан вывод о том, что методики расчета податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительным элементом в виде стандартного прокатного уголка не применимы для расчета податливости стыка с гнутым уголком.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния исследуемых стыков, проведенных в лабораторных условиях (таблица 1).

Таблица 1 – Перечень испытанных образцов

Вид испытания	Группа испытаний				
	I			II	
	на растяжение			на сдвиг	
Серия	I – 1	I – 2	II – 2	I – 1	II – 1
Вид уголка	гнутой	гнутой	прокатный	гнутой	прокатный
Размеры	L75×50×5, L=100		L75×50×6, L=100	L75×50×5, L=100	
Количество образцов	3	3	3	3	3

Размеры закладных деталей и соединительных элементов назначались из условия размещения сварных швов необходимой длины с учетом практики возведения крупнопанельных зданий.

Оснастка эксперимента моделировала работу вертикального стыка при сдвиге или растяжении (рисунок 4).

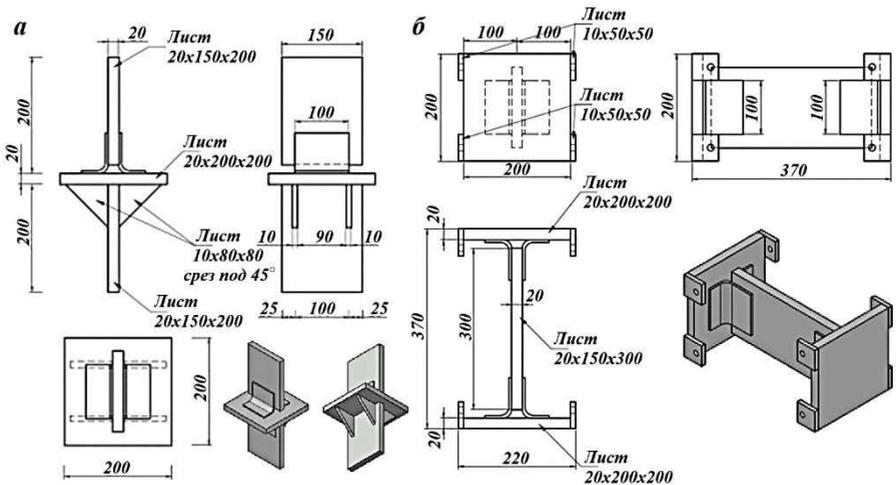


Рисунок 4– Схема оснастки для испытания гнутых и прокатных уголков: на растяжение (а), на сдвиг (б)

Опытные образцы выполнены из металлических гнутых или прокатных уголков (сталь С245) с закладными деталями.

Испытания опытных образцов на растяжение проводились на лабораторном оборудовании (Instron 8802), создававшем растягивающие усилия в стыках (рисунок 5, а). При испытаниях на сдвиг на образцы определенным образом передавалась сжимающая нагрузка с прессы универсальной испытательной машины Instron 1000 HDX сначала на стальную балку, затем на опытный образец (рисунок 5, б). Испытания проводились статической нагрузкой ступенями до момента разрушения с выдержками для записи показаний индикаторов перемещений. Перед началом экспериментальных исследований определялись основные характеристики стали уголков.

Для измерения перемещений использовались цифровые индикаторы фирмы Micron типа ИЦ-50-0,01 с диапазоном измерения 0-50 мм и ценой деления $s = 0,01$ мм. Индикаторы перемещений были установлены таким образом, чтобы фиксировать перемещения в зоне изгиба уголков.



Рисунок 5 – опытные образцы в испытательных установках: для испытания на растяжение (а), для испытания на сдвиг (б)

Результаты испытаний и их анализ

Для определения податливости опытных образцов использовались графики «нагрузка-перемещение» при растяжении и сдвиге. Построение графиков выполнено по средним значениям перемещений, полученным в эксперименте (рисунок 6).

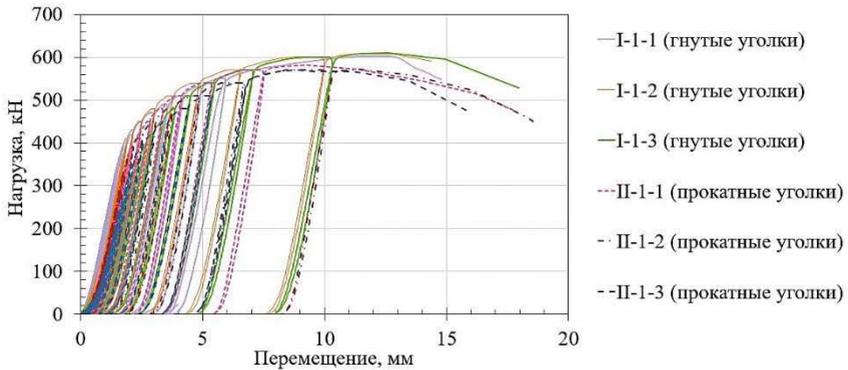


Рисунок 6 – Зависимость перемещений от нагрузки для опытных образцов при испытании на сдвиг

При испытании на растяжение опытные образцы I-2-1 и I-2-3 с гнутыми уголками $75 \times 50 \times 6$ мм разрушались при нагрузках 86,9 кН и 110,9 кН в результате достижения предела прочности сварных швов, рост пластических деформаций зафиксирован при нагрузке 60 кН. Опытный образец I-2-2 с гнутыми уголками $75 \times 50 \times 6$ разрушен при нагрузке 104,5 кН, вследствие достижения предела текучести в зоне изгиба уголка. Увеличение пластических деформаций в соединительном элементе опытного образца I-2-2 произошло при 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 кН и 138,9 кН, опытный образец II-2-2 разрушен при нагрузке 151,2 кН в результате роста напряжений в сварном шве и разрыва сварного шва и соединительного элемента. Деформации в зоне изгиба прокатных уголков при растяжении практически отсутствуют.

В результате испытаний на сдвиг опытные образцы II-1-1, II-1-2, II-1-3 с прокатными уголками $75 \times 50 \times 5$ 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 аналогичных размеров (602,9 кН, 608,0 кН, 610,4 кН).

Для всех опытных образцов на диаграммах «нагрузка-перемещение» (рисунок 6) выделены характерные стадии работы и построены графики с соответствующими участками (рисунок 7).

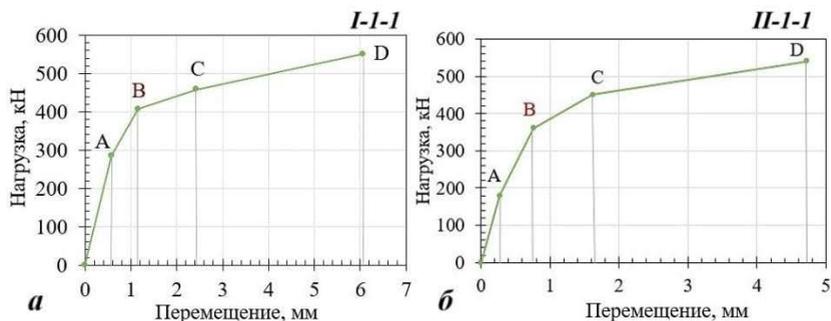


Рисунок 7 – Стадии работы опытных образцов при испытании на сдвиг: I-I-I с гнутыми уголками (а), II-I-I с прокатными уголками (б)

Стадии работы стыка с гнутыми уголками при сдвиге (рисунок 7, а): упругое деформирование в зоне изгиба уголка и в сварном шве (OB), рост пластических деформаций в зоне изгиба уголка и в сварном шве (BC), появление и рост трещин в зоне изгиба уголка и в сварном шве (CD). Для стыков с прокатными уголками (рисунок 7, б) стадии работы стыка следующие: упругое деформирование в зоне изгиба уголка и в сварном шве (OB), рост пластических деформаций в сварном шве (BC), появление и рост трещин в сварном шве (CD).

Расчетную податливость определяют по значениям в точке «B» - переход из упругой стадии работы в стадию пластического деформирования.

Результаты сравнительного анализа податливости стыков с гнутыми и прокатными уголками, испытанных на растяжение и сдвиг, представлены в виде гистограмм на рисунке 8.

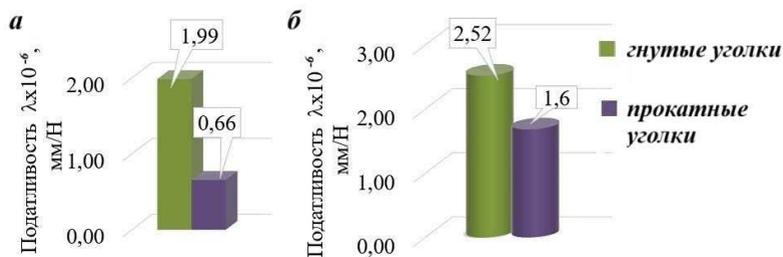


Рисунок 8 – Сравнительный анализ значений податливости: при растяжении (а), при сдвиге (б)

Податливость стыков (таблица 2), вычисленную по результатам экспериментов, можно использовать при моделировании расчетной схемы здания крупнопанельной КС.

Таблица 2 – Несущая способность и податливость сварных вертикальных стыков на закладных деталях

Вид соединительно элемента стыка и вид нагружения	N _{разр.} стыка, кН	Коэффициент податливости $\times 10^{-6}$ мм/Н		
		начальный $\lambda_{нач.}$	расчетный $\lambda_{расч.}$	при N _{разр.} $\lambda_{разр.}$
└75×50×5, L= 100, (гнутой), сдвиг	607,1	1,61	2,52	12,1
└75×50×5, L= 100, (прокатный), сдвиг	574,2	1,47	1,69	8,5
└75x50x6, L= 100 (гнутой), растяжение	100,8	1,21	1,99	5,0
└75x50x6, L=100 (прокатный) растяжение	134,7	0,44	0,66	1,89

С учетом полученных экспериментальных данных была разработана методика расчета податливости сварного вертикального стыка на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых уголков.

По этой методике расчета податливость вертикального стыка при сдвиге можно определять по формуле (7):

$$\lambda_{z, Гн.} = 1,49 \cdot \{ \varphi_1 \cdot [(1 + 0,8 \cdot \sqrt{\frac{N_x}{N_z}}) \cdot \frac{N_z}{d \cdot E_b} \cdot (\frac{1000 \cdot N_z}{d^2 \cdot E_b} \cdot (\frac{1}{n_{an1}} + \frac{1}{n_{an2}}) + \frac{1}{n_{an1}} + \frac{1}{n_{an2}}))] + [l_{ce} \cdot tg \cdot (\frac{2,6 \cdot 0,5 \cdot N_z}{h_{ce} \cdot t_{ce} \cdot E_s})] \} / N_z \quad (7)$$

Податливость вертикального стыка при растяжении можно определять по формуле (8):

$$\lambda_{x, Гн.} = 3,02 \cdot (\frac{1,2 \cdot \varphi_1 \cdot (\frac{1}{n_{an1}} + \frac{1}{n_{an2}})}{d \cdot E_b \cdot \sqrt{\frac{d}{0,016}}} + \frac{0,5 \cdot l_{ce}}{A_{ce} \cdot E_s}), \quad (8)$$

где $\lambda_{xГн}$ – податливость вертикального стыка на закладных деталях с гнутым уголком при растяжении; $\lambda_{zГн}$ – податливость вертикального стыка на закладных деталях с гнутым уголком при сдвиге; N_x – горизонтальная растягивающая нагрузка; N_z – вертикальная сдвигающая нагрузка; φ_1 – коэффициент, принимаемый равным: для кратковременной нагрузки 1, для длительной нагрузки 2; $n_{ан1}$, $n_{ан2}$ – количество анкеров соответственно, в 1-й и во 2-й закладной детали; d – диаметр анкера; E_b – модуль упругости бетона; l_{ce} – длина соединительного элемента; A_{ce} – площадь поперечного сечения соединительного элемента в рассматриваемом направлении; E_s – модуль упругости стали, h_{ce} – высота соединительного элемента; t_{ce} – толщина соединительного элемента.

Графики на рисунке 9 отражают все стадии работы стыков до момента разрушения при сдвиге и растяжении и демонстрируют удовлетворительную сходимость разработанной методики и эксперимента.

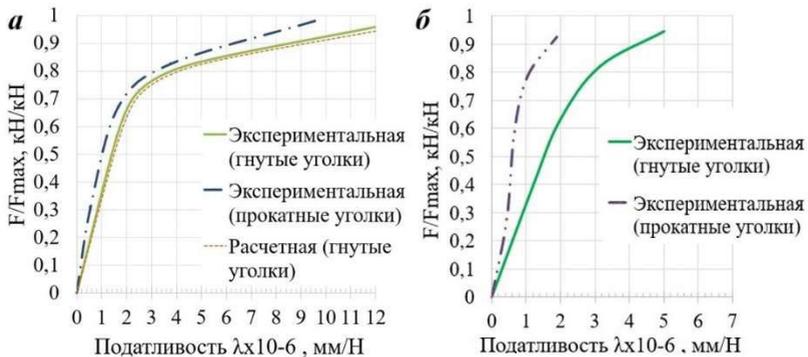


Рисунок 9 – Графики зависимости податливости стыка от относительной нагрузки: при сдвиге (а), при растяжении (б)

Экспериментально установлено, что при сдвиге, гнутые уголки, находясь в пластично-деформированном состоянии, перераспределяют напряжения между элементами стыка и предотвращают возникновение предельных концентраций напряжений в сварных швах. Несущая способность стыков с более жесткими прокатными уголками ниже несущей способности стыков с гнутыми уголками при сдвиге на 6%.

Четвертая глава посвящена исследованию и оценке напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов и стыков крупнопанельного 25-этажного здания с учетом податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых уголков при ветровой нагрузке различной интенсивности.

Пространственная расчетная модель здания строилась в ПК ЛИРА-САПР (для стадии монтажа и эксплуатации). Жесткость вертикальных стыков принималась по результатам разработанной методики расчета.

Характеристики здания

Крупнопанельный 25-этажный жилой дом с подземным этажом перекрестно-стеновой КС. Размеры плана здания в координатных осях 25,2×18,9 м, высота этажа 2,85 м. Толщина стеновых панелей составляет 180 мм, плит перекрытий – 160 мм, класс бетона В25. Горизонтальные стыки – платформенные. Вертикальные стыки – сварные на закладных деталях с гнутыми уголками (2 штуки в пределах одного этажа).

Характеристика расчетной схемы

Пространственная расчетная модель здания (рисунок 10, а) создана в модуле ПК ЛИРА (САПФИР), ориентируемом на расчет крупнопанельных зданий. В нем разработана библиотека стыков, которая включает горизонтальные и вертикальные стыки, учитывает схему соединяемых в стыке элементов, конструктивные параметры и напряженно-деформированное состояние стыка. Горизонтальные стыки моделируются специально разработанными КЭ, вертикальные на закладных деталях (в виде двух дискретных связей по высоте этажа) – одноузловыми конечными элементами упругих связей КЭ55 (рисунок 10, б).

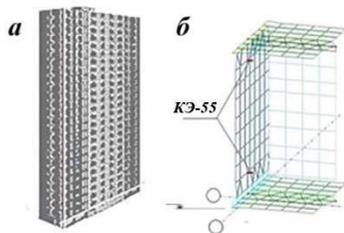


Рисунок 10 - Расчетная схема здания (а), вертикальный стык с КЭ-55 (б)

Податливость (жесткость) соединительных элементов в исследуемых стыках была принята по результатам расчетов с использованием разработанной методики (таблица 3).

Таблица 3 – Жесткости КЭ55

R_z , т/м	R_x , т/м	R_y , т/м	Примечание
39682,5	57142,9	57142,9	Для вертикального стыка с гнутым уголком $L75 \times 50 \times 5$, $L=100$

Установлено, что с увеличением значения ветровой нагрузки возрастает усилие сдвига: для здания, расположенного в V-м ветровом районе, по сравнению с III-м ветровым районом – в 1,4 раза; для здания, расположенного в III-м ветровом районе, по сравнению с I-м ветровым районом – в 1,3 раза (рисунок 11).

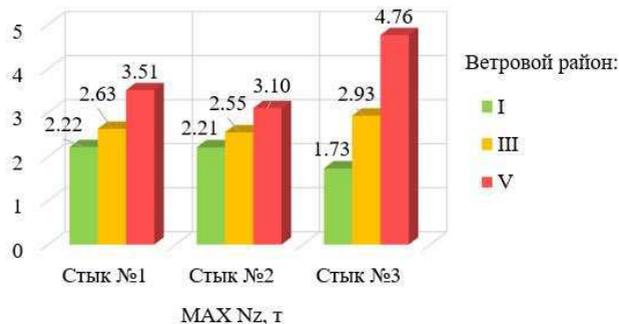


Рисунок 11 - Соотношение величин максимальных усилий сдвига в стыках с гнутыми уголками

С учетом полученных максимальных усилий выполнена оценка прочности исследуемых вертикальных стыков на растяжение и сдвиг. Несущая способность вертикального стыка с гнутыми уголками $75 \times 50 \times 5$ мм, $L=100$ мм при растяжении составляет 85кН, при сдвиге – 607,1кН.

Установлено превышение усилий в вертикальных стыках с прокатными уголками по сравнению с гнутыми до 15 %.

Полученные в результате компьютерного расчета 25-этажного крупнопанельного здания максимальные усилия сдвига

корреспондируются с результатами экспериментальных исследований. При этом численно установлены зависимости между значениями сдвигающих усилий в исследуемых стыках с гнутыми уголками и величиной ветрового воздействия. Отмечено, что значения максимальных усилий сдвига, возникающих в связях вертикальных стыков при ветровой нагрузке, соответствующей V-му ветровому району, не превышают экспериментально полученных значений несущей способности стыка.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в соответствии с целью и задачами диссертации, можно сделать следующие основные выводы:

1. Существующие методики расчета податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях представлены в общем виде и не учитывают конструктивное решение стыка.

2. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния сварных вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых и прокатных уголков при горизонтальном растягивающем и вертикальном сдвигающем воздействии.

3. Экспериментально установлено различие в характере деформирования сварных вертикальных стыков на закладных деталях с гнутыми и прокатными уголками, а также что несущая способность стыков с гнутыми уголками превышает несущую способность стыков с прокатными уголками при вертикальном сдвиге. Выявлено, что гнутые уголки при сдвигающей нагрузке сохраняют целостность соединения и остаются в пластично-деформированном состоянии, предотвращая разрушение сварных швов. Соединения с прокатными уголками разрушаются при значениях сдвигающей нагрузки, в среднем на 6% ниже, чем с гнутыми уголками.

4. Экспериментально получены графики зависимости «нагрузка-перемещение» для стыков с гнутыми и прокатными уголками, которые позволяют определить податливость стыка.

5. Разработана методика расчета податливости сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными

элементами в виде гнутых уголков как наиболее востребованного вида вертикальных стыков. Эта методика была реализована в компьютерной программе «New displacement».

6. Сравнительный анализ показал, что при растяжении, расчетная податливость стыков с гнутыми уголками превышает податливость стыков с прокатными уголками в 3,02 раза. При сдвиге расчетная податливость стыков с гнутыми уголками выше податливости стыков с прокатными уголками в 1,49 раз.

7. При исследовании напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и стыков крупнопанельного здания повышенной этажности установлены зависимости между усилиями в сварных вертикальных стыках на закладных деталях с гнутыми уголками и величиной ветрового воздействия. В среднем, значение сдвигающего усилия N_z для здания, расположенного в V-м ветровом районе превышает сдвигающее усилие N_z для здания, расположенного в III-м ветровом районе в 1,4 раза. Значение сдвигающего усилия N_z для здания, расположенного в III-м ветровом районе превышает сдвигающее усилие N_z для здания, расположенного в I-м ветровом районе в 1,3 раза.

8. Результаты проверки прочности сварных вертикальных стыков крупнопанельного здания повышенной этажности на закладных деталях с гнутыми уголками показали, что максимальные сдвигающие и растягивающие усилия, возникающие при ветровой нагрузке в V-м ветровом районе, не превышают полученные значения несущей способности стыка.

9. Разработаны рекомендации по области применения стыков на закладных деталях с гнутыми уголками для крупнопанельных зданий до 25 этажей с обоснованием конструктивных параметров стыка: размеров и формы поперечного сечения, марки стали, требований к изготовлению соединительных уголков и выполнению сварных швов.

Рекомендации и перспективы дальнейшего развития темы

Дальнейшее развитие темы может заключаться в исследовании возможности применения сварных вертикальных стыков на закладных деталях с соединительными элементами в виде гнутых уголков в зданиях выше 25 этажей.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий:

1. Давлетбаева, Д.А. Оценка эффективности современных рекомендаций по расчету прочности контактных стыков панельных зданий / Д.А. Давлетбаева, А.Н. Малахова // БСТ. – 2018. – №4 (1004). – С. 37-39.
2. Малахова, А.Н. Податливость вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях / А.Н. Малахова, Д.А. Маринина // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 6 (86). – С. 10-16.
3. Маринина, Д.А. Несущая способность и деформативность сварных вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях / Д.А. Маринина // Строительство и реконструкция. – 2023. – № 1. – С. 28-42.

Статьи, опубликованные в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и др.

1. Malakhova, A. The reconsideration of compliance of structural joints in calculation of large panel buildings / A. Malakhova, D. Davletbaeva // E3S Web of Conferences. – 2019. – V. 97. – № 04010. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704010>.
2. Malakhova, A.N. The consideration of complince of structural joints in the numerical calculation of large-panel buildings / A. N. Malakhova, D. A. Davletbaeva // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – V. 1425 – № 012081. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1425/1/012081>.

Статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях:

1. Давлетбаева, Д.А. Обследование технического состояния пятиэтажного панельного здания / Д.А. Давлетбаева // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: XXI научно-методическая конференция ВИТУ, посвященная 90-летию со дня рождения профессора В.Т. Гроздова. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого". – 16 марта 2017 г. – С. 54-58.
2. Давлетбаева, Д.А. Виды и характеристика стыков элементов строительных конструкций панельных зданий [Электронный ресурс] / Д.А. Давлетбаева // Строительство - формирование среды жизнедеятельности: сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. – М: НИУ МГСУ. – 26-28 апреля 2017 г. – С. 277-279. Режим доступа: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2017/StFJD2017.pdf>.
3. Малахова, А. Н. Экспериментальные исследования вертикального стыка стен крупнопанельных зданий на закладных деталях / А.Н. Малахова, Д.А. Давлетбаева // «Лолейтовские чтения-150». Современные методы расчета

железобетонных и каменных конструкций по предельным состояниям: Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора, автора методики расчета железобетонных конструкций по стадии разрушения, основоположника советской научной школы теории железобетона, основателя и первого заведующего кафедрой железобетонных конструкций Московского инженерно-строительного института (МИСИ) А.Ф. Лолейта. – Под редакцией А.Г. Тамразяна. – М. : НИУ МГСУ. – 2018. – С. 233-237.

4. Давлетбаева, Д.А. Усовершенствование технологии производства крупнопанельных зданий / Д.А. Давлетбаева // Технология и организация строительного производства. – 2018. – № 3. – С. 35-38.

5. Давлетбаева, Д.А. Исследование характера разрушения вертикальных стыков на закладных деталях в крупнопанельных зданиях / Д.А. Давлетбаева // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей XIX Международной научно-технической конференции. – Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний». – март 2019. – С. 44-48.

6. Давлетбаева, Д.А. Совершенствование методов расчета вертикальных стыков на закладных деталях с учетом податливости сварных швов / Д.А. Давлетбаева // Безопасность строительного фонда России проблемы и решения: материалы Международных академических чтений. – Курск: Курский государственный университет. – 15 ноября 2019 г. – С. 54-60.

7. Малахова, А.Н. Определение податливости элементов вертикального стыка на закладных деталях крупнопанельных зданий [Электронный ресурс] / А.Н. Малахова, Д.А. Маринина // «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования». Сборник докладов Первой Национальной конференции. – М. : НИУ МГСУ. – 30 сентября 2020 г. – С. 123-127. – Режим доступа: https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2020/Sbomik_NK_2020_mal.pdf.

Маринина Дарья Александровна

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕСУЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ
СТЫКАМИ НА ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЯХ С ГНУТЫМИ УГОЛКАМИ**

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения
(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать

07.11.2024 г.

Усл. печ. л. – 1,5

Заказ №

Формат 60x90/16

Тираж 80 экз.

129110, Россия, г. Москва, Проспект Мира, д. 47, строение 1, помещение VI, ком. 1,
ООО "АРМСИНГ"