

УДК: 624.078

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.10

EDN: HSNLDJ

## Конструкции рационального углового кронштейна крепления стоечно-ригельной фасадной системы к зданию

А.С. Антонов<sup>1</sup>, Р.Э. Алитдинова<sup>1</sup>, Г.Н. Шмелев<sup>1</sup>, И.Р. Валиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** *Постановка задачи.* Развитие монолитного строительства и ежегодный рост использования в качестве ограждающих конструкций навесных фасадных систем, включающих светопрозрачное заполнение, образуют тесный тандем для создания новых рациональных конструктивных решений узлов опирания светопрозрачных фасадных конструкций на несущий монолитный каркас.

*Цель* данной работы заключается в разработке нового конструктивного решения несущего кронштейна стоечно-ригельной навесной фасадной системы, устанавливаемого на угол монолитного перекрытия здания. В связи с поставленной целью решаются следующие *задачи*: обзор с численной и экспериментальной оценкой напряженно-деформированного состояния существующих решений несущих кронштейнов для крепления светопрозрачных фасадов к монолитным перекрытиям, моделирование предложенной конструкции рационального углового кронштейна крепления стоечно-ригельной фасадной системы к зданию, и сравнительный анализ разработанного решения с существующими.

*Результаты.* Предложены конструктивные решения рационального углового кронштейна крепления стоечно-ригельной фасадной системы к зданию. В результате численных исследований установлена несущая способность разработанных конструкций углового кронштейна, значительно превышающая ее пределы в существующих решениях, при дополнительном снижении материалоемкости.

*Выводы.* Предложенные конструктивные решения несущего кронштейна могут быть использованы для крепления стоечно-ригельных навесных фасадных систем со светопрозрачным заполнением во внешних угловых зонах зданий с достаточной несущей способностью для восприятия эксплуатационных нагрузок и условий, при пониженной материалоемкости по сравнению с существующими решениями.

**Ключевые слова:** навесная фасадная система; кронштейн; направляющая; стоечно-ригельная фасадная система

**Для цитирования:** Антонов А. С., Алитдинова Р. Э., Шмелев Г. Н., Валиев И. Р. Конструкции рационального углового кронштейна крепления стоечно-ригельной фасадной системы к зданию // Известия КГАСУ, 2024, № 3(69), с.106-117, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.10, EDN: HSNLDJ

# Designs of a rational corner bracket for attaching a post-and-beam facade system to a building

A.S. Antonov<sup>1</sup>, R.E. Alitdinova, G.N. Shmelev<sup>1</sup>, I.R. Valiev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering,  
Kazan city, Russian Federation

**Abstract. Problem statement.** The development of monolithic construction and the annual increase in the use of suspended facade systems as enclosing structures, including translucent infill, form a close tandem for creating new rational structural solutions for supporting joints of translucent facade structures on a load-bearing monolithic frame.

The purpose of this work is to develop a new structural solution for the load-bearing bracket of a post-and-beam suspended facade system installed on the corner of a monolithic floor slab of a building. In connection with this goal, the following tasks are being solved: review with numerical and experimental assessment of the stress-strain state of existing solutions for load-bearing brackets for attaching translucent facades to monolithic floor slabs, modeling of the proposed design of a rational corner bracket for attaching a post-and-beam facade system to a building, and comparative analysis of the developed solution with existing ones.

**Results.** Structural solutions for a rational corner bracket for attaching a post-and-beam facade system to a building are proposed. As a result of numerical studies, the bearing capacity of the developed corner bracket designs has been established, significantly exceeding its limits in existing solutions with an additional reduction in material consumption.

**Conclusions.** The proposed structural solutions for the load-bearing bracket can be used for fixing post-and-beam suspended facade systems with translucent infill in the external corner zones of buildings with sufficient bearing capacity to withstand operational loads and conditions, while reducing material consumption compared to existing solutions.

**Keywords:** suspended facade system; bracket; guide rail; post-and-beam facade system

**For citation:** Shmelev G. N., Antonov A. S., Alitdinova R. E., Valiev I.R. Designs of a rational corner bracket for attaching a post-and-beam facade system to a building // News of KSUAE, 2024, № 3(69), p.106-117, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.10, EDN: HSNLDJ

## 1. Введение

В мировой строительной практике значительную часть занимает монолитное строительство, использование данной технологии также раскрывает новые возможности для использования, расчета и проектирования ограждающих конструкций, в виде навесных фасадных систем со светопрозрачным заполнением. В качестве материалов для несущих элементов навесных фасадов чаще используются оцинкованная сталь или сталь с порошковым покрытием и алюминиевые сплавы. В качестве ограждающих элементов выступают стекла и стеклопакеты различной камерности, использование которых в условиях современного строительства продолжает расти, что делает их надежность и долговечность приоритетом [1-2]. Разнообразие решений в области навесных фасадных систем обусловлено не только архитектурными требованиями, но и стремлением к созданию более экономичных и эффективных систем [3-4]. Алюминиевые сплавы продолжают набирать популярность благодаря своей легкости, высокой коррозионной стойкости [5-7] и возможности создания разнообразных архитектурных форм. С 2020 года их доля выросла до 25-30% [8-9]. Алюминиевые подконструкции особенно востребованы в проектах, где важен минимальный вес фасадной системы [10]. Светопрозрачные фасадные конструкции (СФК) играют важную роль в современной архитектуре, сочетая в себе как эстетические, так и функциональные качества [11].

Стойчно-ригельные системы представляют собой светопрозрачные конструкции, в которых вертикальные стойки и горизонтальные ригели объединяются с остеклением, образуя непрерывную ограждающую оболочку здания [12]. В своей работе [13] автор и другие исследователи анализируют, как стойчно-ригельные фасадные конструкции ведут себя при сжатии и изгибе.

На этапе проектирования несущие кронштейны в стоечно-ригельных системах зачастую не подвергаются расчету. При этом схема размещения и количество кронштейнов по высоте и зонам ветровой нагрузки могут существенно влиять на напряженно-деформированное состояние (НДС) как самих кронштейнов, так и всей системы в целом. Нередко кронштейны устанавливаются не по требованиям производителя, а исходя из условий объекта. Но даже при использовании оригинальных кронштейнов и их установке согласно регламенту, бывают случаи потери несущей способности из-за повышенной деформативности. В большинстве случаев это становится причиной аварийных состояний навесных фасадных систем.

**Цель работы.** Заключается в разработке нового конструктивного решения несущего кронштейна стоечно-ригельной навесной фасадной системы, устанавливаемого на угол монолитного перекрытия здания.

**Задачи:**

- 1) Обзор с численной и экспериментальной оценкой НДС существующих решений несущих кронштейнов для крепления светопрозрачных фасадов к монолитным перекрытиям;
- 2) Моделирование предложенной конструкции рационального углового кронштейна крепления стоечно-ригельной фасадной системы к зданию;
- 3) Численное исследование несущей способности по смоделированной конструкции несущего кронштейна и сравнительный анализ разработанного решения с существующими.

## 2. Материалы и методы

На первом этапе рассмотрена существующая конструкция несущего кронштейна светопрозрачной фасадной системы, который представляет собой стальную пластину Т-образной формы толщиной 10 мм и габаритными размерами 294x200 мм, материал кронштейна – сталь с установленным расчетным сопротивлением 229.4 МПа. Кронштейн устанавливается на верхнюю поверхность монолитного железобетонного перекрытия через шайбы с помощью двух анкеров, нагрузка на каждый кронштейн от двух соседних светопрозрачных модулей передается через опорный столик и два регулировочных болта.

С целью определения несущей способности и деформативности данного кронштейна проведены численные и экспериментальные исследования. Численные исследования проведены в программном комплексе «ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 17.1» с моделированием конечно-элементной модели [14-15] несущего кронштейна и части конструкций светопрозрачных модулей, вертикальная нагрузка которых, передается на опорный столик кронштейна. Также смоделированы конструкции основания кронштейна – часть железобетонного перекрытия, анкеров и иных конструкций, влияющих на работу несущего кронштейна. Материал стали кронштейна и других металлических конструкций назначен в нелинейной постановке. Контактные зоны между элементами установлены соответствующими коэффициентами трения. После назначения соответствующих материалов и контактных поверхностей между элементами выполняется разбиение сетки конечных элементов модели. Конечно-элементной модели кронштейна с дополнительными конструкциями назначены условия закрепления, заданы нагрузки, включающие собственный вес конструкций модели и дополнительная вертикальная составляющая нагрузки от веса светопрозрачных модулей.

Общий вид рассматриваемого кронштейна и его конечно-элементная модель с дополнительными элементами представлены на рис. 1.

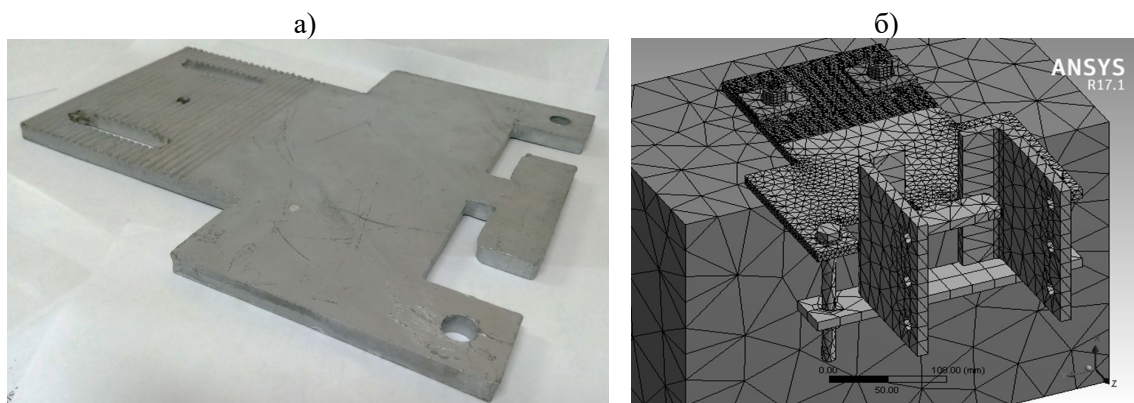


Рис. 1. Исследуемый существующий кронштейн светопрозрачных фасадов: а – общий вид кронштейна, б – конечно-элементная модель кронштейна с дополнительными элементами, влияющими на его работу (иллюстрация авторов)

Fig. 1. The existing bracket for translucent facades under study: а – general view of the bracket, б – finite element model of the bracket with wooden elements affecting its operation (illustration by the authors)

Производится расчет, в результате которого получены значения напряжений и перемещений модели несущего кронштейна от действия расчетных нагрузок, общая картина НДС представлена на рис. 2.

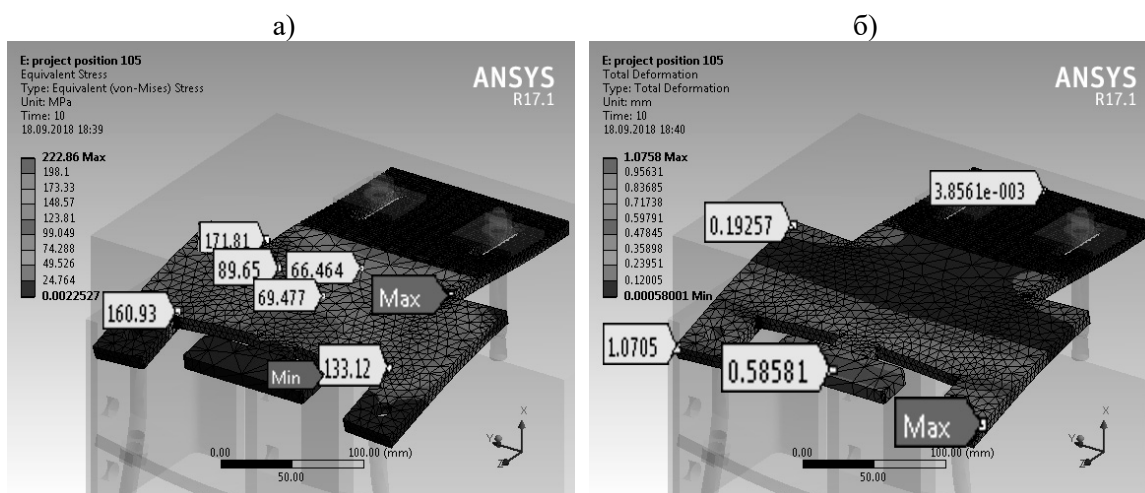


Рис. 2. НДС модели существующего кронштейна светопрозрачных фасадов: а – распределение и значения эквивалентных напряжений, б – распределение и значения перемещений (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Stress-strain state of the model of an existing bracket for translucent facades: а – distribution and values of equivalent stresses, б – distribution and values of deformations (illustration by the authors)

Таким образом, значения напряжений в несущем кронштейне при расчетных нагрузках не превышают расчетного сопротивления стали:  $222.86 \text{ МПа} < 229.4 \text{ МПа}$ , но находятся максимально близко к пределу пропорциональности. Значения прогибов не превышают предельно допустимых  $1.08 \text{ мм} < 1/75 \cdot l = 1/75 \cdot 105 = 1.4 \text{ мм}$ .

С целью определения фактической несущей способности данного кронштейна были произведены экспериментальные исследования. Испытания кронштейна производятся на вертикальную составляющую нагрузки от собственного веса модулей светопрозрачного фасада по разработанной программе. Схема испытаний с нумерацией элементов по программе испытаний представлена на рис. 3.

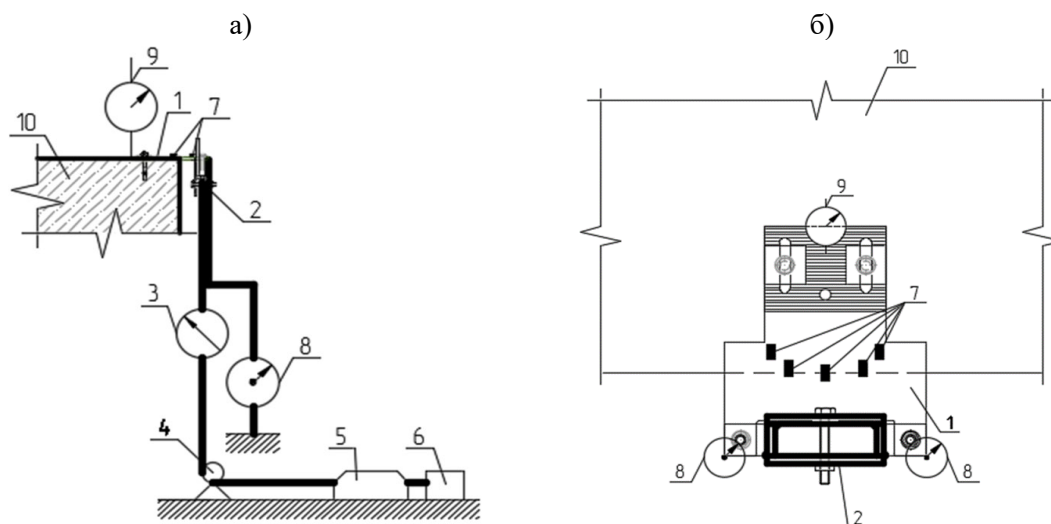


Рис. 3. Схема испытания существующего кронштейна светопрозрачных фасадов: а – вид сбоку (1 – испытываемый кронштейн, 2 – адаптер передачи нагрузки, 3 – динамометр, 4 – опорный блок, 5 – силовая лебедка, 6 – якорь, 7 – тензорезисторы, 8 – прогибомеры, 9 – индикаторы часового типа, 10 – строительное основание), б – вид сверху (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Test scheme for an existing bracket for translucent facades: a – side view (1 – tested bracket, 2 – load transfer adapter, 3 – dynamometer, 4 – support block, 5 – power winch, 6 – anchor, 7 – strain gauges, 8 – deflectometers, 9 – dial indicators, 10 – construction tower), b – top view (illustration by the authors)

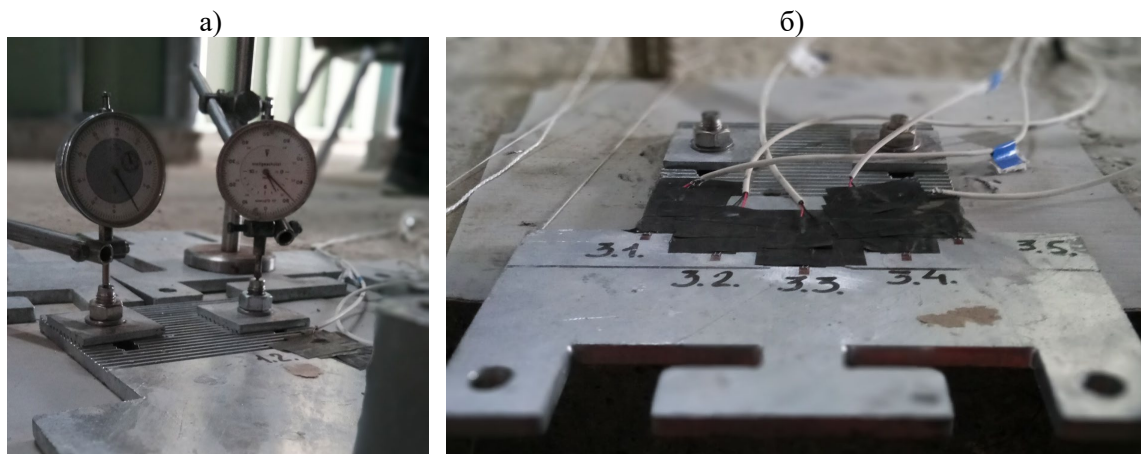
Испытываемый образец кронштейна 1 монтируется в основание 10, аналогичное проектному (монолитное железобетонное перекрытие), анкерное крепление кронштейна в основание идентичное проектному. Вертикальная нагрузка передается на кронштейн через специально разработанный адаптер 2 (захват кронштейна). Величина нагрузки фиксируется электронным динамометром 3, установленным в цепь. Направление усилия, создаваемое силовой лебедкой 5, жестко закрепленной к железобетонному основанию якорем 6, изменяется опорным блоком 4.

Нагрузка на кронштейн подавалась ступенями, составляющими  $N \approx 1/10 - 1/20$  от расчетной нагрузки. При испытаниях нагружение осуществлялось пошагово с замером на каждом шаге:

- напряжений тензорезисторами 7, установленными на кронштейне в местах наибольших расчетных напряжений, через автоматизированный блок аппаратно-программных средств измерений;

- перемещений с помощью средств измерения линейных перемещений (двух прогибомеров 8, установленных по максимальному вылету, и двух индикаторов часового типа 9, установленных в зоне анкерного крепления кронштейна).

Процесс испытания существующих кронштейнов представлен на рис. 4.



в)



Рис. 4. Процесс испытания существующего кронштейна светопрозрачных фасадов: а – индикаторы часового типа для измерения перемещений анкерной группы, б – тензорезисторы для снятия показаний напряжений, в – общий вид сверху испытываемых кронштейнов в количестве 4 шт. (иллюстрация авторов)

Fig. 4. The process of testing an existing bracket for translucent facades: a – dial indicators for measuring the movements of the anchor group, b – strain gauges for taking stress readings, c – general top view of the tested brackets, 4 pcs. (illustration by the authors)

### 3. Результаты и обсуждение (Results and Discussion)

По результатам выполненных испытаний четырех кронштейнов получены графики зависимости напряжений и перемещений от действия испытательной нагрузки, где максимальные значения напряжений по показаниям тензорезисторов при величине расчетных нагрузок в среднем составляли 199 МПа, не превышающие расчетного сопротивления стали 229.4 МПа. Значения прогибов по показаниям прогибомеров при расчетных нагрузках в среднем составляли 0.35 мм, не превышая предельно допустимых, равных  $1/75 \cdot l = 1/75 \cdot 105 = 1.4$  мм. График зависимости перемещений от испытательной нагрузки для одного из кронштейнов представлен на рис. 5.

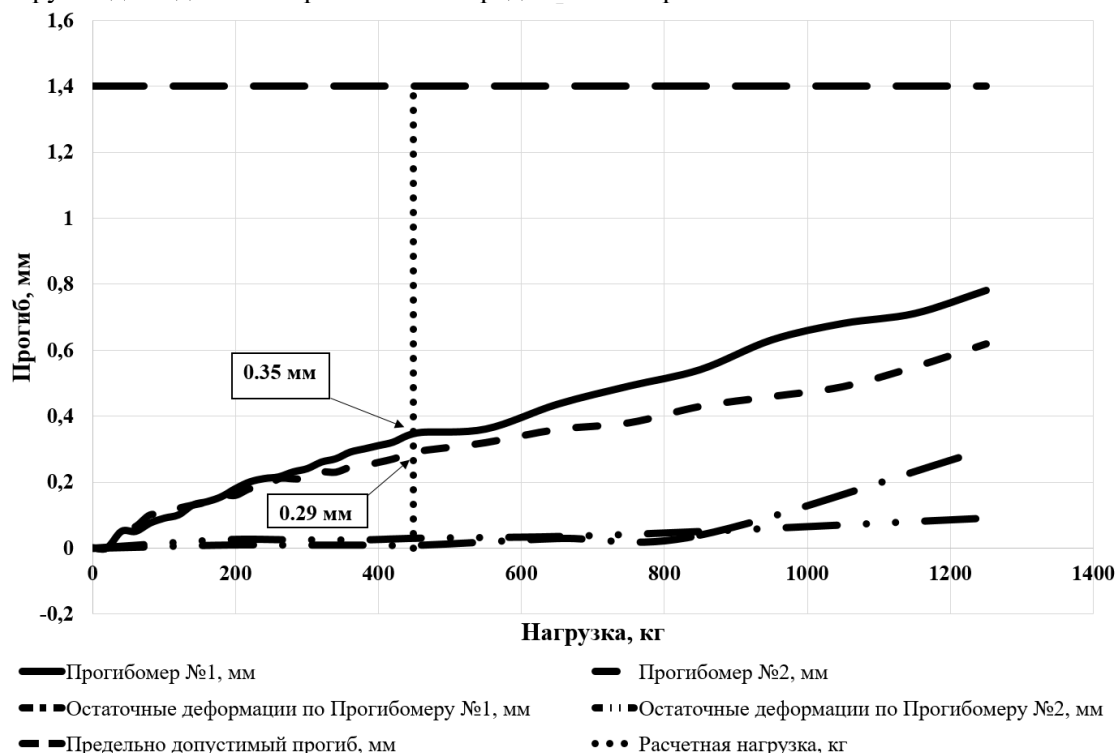


Рис. 5. График зависимости перемещений от испытательной нагрузки существующего кронштейна светопрозрачных фасадов (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Graph of the dependence of displacements on the test load of the existing bracket for translucent facades (illustration by the authors)

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают численные расчеты, что по предельным состояниям кронштейны находятся на границе допустимых значений. Из самой геометрии видно, что жесткость такого узла крайне мала, при толщине пластины 10 мм, за счет этого кронштейн работает неравномерно по площади и обладает высокой материалоемкостью. Это один из примеров неудачного конструирования несущих и ответственных элементов фасадных систем. Помимо прочего, встает вопрос в сложности установки светопрозрачных модулей на подобного типа кронштейны в угловых зонах зданий.

В связи с полученными результатами НДС существующей конструкции несущего кронштейна, разработаны новые конструктивные решения несущего кронштейна для крепления стоечно-ригельных фасадных систем со светопрозрачным заполнением, по которым авторами получены патенты на изобретения РФ [16-17]. Новый кронштейн представляет собой цельносварную конструкцию из горизонтальной пластины, крепящейся к междуэтажному перекрытию здания и самой направляющей, к которой крепятся с двух перпендикулярных друг другу сторон стеклопакеты. Особенность углового кронштейна состоит в том, что, в отличие от рядового кронштейна, на него приходится ветровые воздействия с двух, перпендикулярных друг другу, сторон. Материал кронштейна – алюминиевый сплав с расчетным сопротивлением 100 МПа, выполнение кронштейна из алюминиевых сплавов позволяет создать сложные поперечные сечения его элементов за счет использования экструзии, что также снижает образование коррозии в местах соприкосновения стального кронштейна и алюминиевой стойки фасада.

На рис. 6 представлены первые итерации разработанного конструктивного решения углового несущего кронштейна.

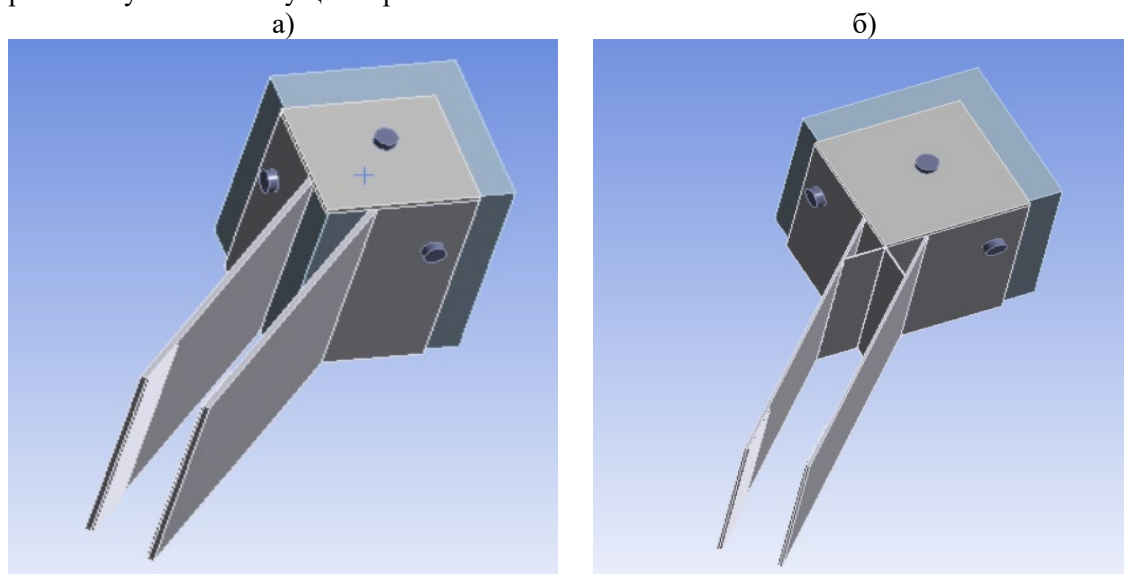


Рис. 6. Объемная модель разработанного углового кронштейна: а) с разомкнутым вертикальным профилем между консолями, б) с V-образным элементом между консолями (иллюстрация авторов)  
Fig. 6. Three-dimensional model of the developed corner bracket: a) with an open vertical profile between the consoles, b) with a V-shaped element between the consoles (illustration by the authors)

С целью определения несущей способности разработанных конструктивных решений угловых кронштейнов проведены численные исследования. Созданы конечно-элементные модели всех кронштейнов, заданы нагрузки от собственного веса конструкций, включая вес светопрозрачного заполнения и направляющих стоечно-ригельной системы, а также ветровая нагрузка с учетом пульсации, в данном случае ветровая нагрузка играет большую роль ввиду того, что на угловой кронштейн действует нагрузка в двух плоскостях. Расчетная ветровая зона принята для здания размерами в плане 36х36 м и высотой 32 м, расположенного во II ветровом районе.

Процесс моделирования, задания граничных условий, расчета и т.п. для разработанных кронштейнов аналогичен, как и для существующего, описанный выше.

В результате расчета для каждой из двух моделей получена картина НДС со значениями напряжений и прогибов, представленных на рис. 7.

Из результатов расчета видно, что наибольшей несущей способностью обладает кронштейн с V-образным элементом между консолями, при этом максимальные напряжения концентрируются в зоне анкерных болтов, поэтому проведем расчет на смятие и срез:

Несущая способность болта по условию работы на срез определяется по формуле:

$$\frac{N}{n \cdot n_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot R_{bs}} = \frac{3758,7}{1 \cdot 1 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4} \cdot 332} = 0,1 < 1 \tag{1}$$

Несущая способность болта по условию работы на смятие материала:

$$\frac{N}{n \cdot d \cdot R_{bp} \cdot \sum t} = \frac{3758,7}{1 \cdot 10 \cdot 35 \cdot 2} = 5,3 > 1 \tag{2}$$

Исходя из вычислений, где пятикратно не выполняется условие работы материала на срез, приходим к выводу, что требуется увеличение толщины горизонтальной пластины, либо увеличение диаметра болта, расположенного на горизонтальной пластине.

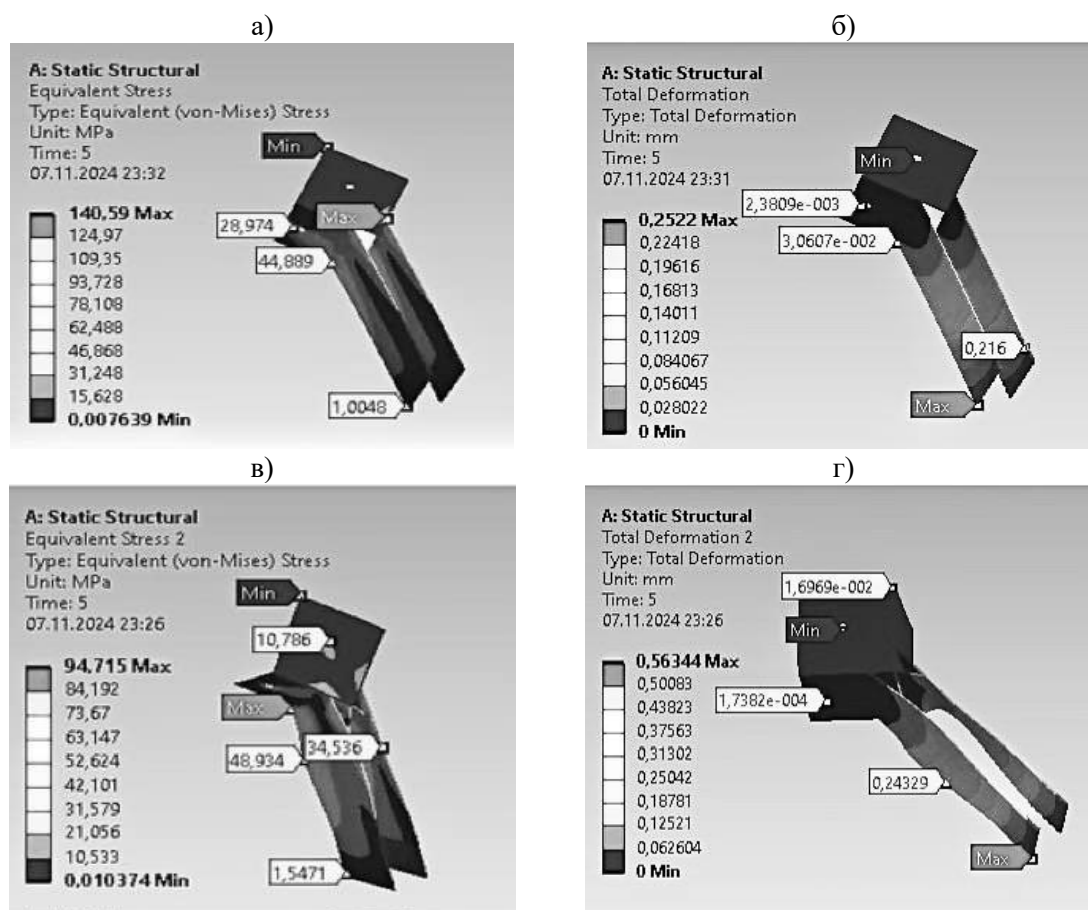


Рис. 7. НДС разработанных моделей несущих угловых кронштейнов: а-б) эквивалентные напряжения и перемещения кронштейна с разомкнутым вертикальным профилем между консолями, соответственно,

в-г) эквивалентные напряжения и перемещения кронштейна с V-образным элементом между консолями (иллюстрация авторов)

Fig. 7. Stress-strain state of the developed models of load-bearing corner brackets: a-b) equivalent stresses and displacements of the bracket with an open vertical profile between the consoles respectively, c-d) equivalent stresses and displacements of the bracket with a V-shaped element between the consoles (illustration by the authors)



Выполним доработку горизонтального профиля кронштейна, локально увеличив его толщину, что позволяет сделать метод экструзии. Следующая итерация преобразования кронштейна, представлена на рис. 8.

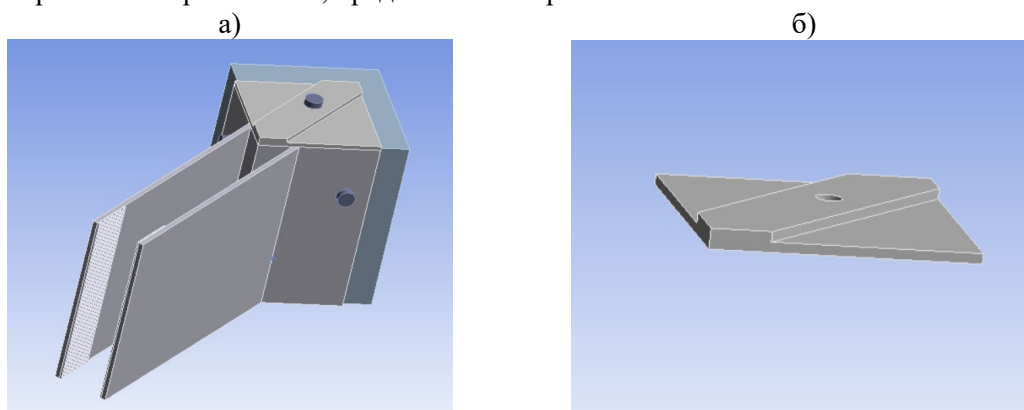


Рис. 8. Объемная модель доработанного углового кронштейна: а) общий вид кронштейна с увеличенной толщиной горизонтальной части, б) общий вид горизонтальной части с локальным утолщением (иллюстрация авторов)

Fig. 8. Three-dimensional model of a modified corner bracket: a) general view of the bracket with increased thickness of the horizontal part, b) general view of the horizontal part with local thickening (illustration by the authors)

Произведенный численный анализ показал общий уровень снижения напряжений и перемещений в модели доработанного кронштейна до 20%, однако, проверка на смятие в зоне установки анкерного болта по формуле (2) вновь не выполняется, при этом ни усилия среза, ни усилия вырыва практически не приходятся на анкеры, установленные в торцы монолитного перекрытия с каждой стороны угла.

В связи с чем, на заключительной итерации доработки нового углового кронштейна предлагается выполнить установку дополнительного анкерного болта в горизонтальной части кронштейна, угловую зону монолитного перекрытия стесывать до образования кромки, повторяющей вертикальную поверхность профиля между консолями кронштейна, боковые зоны вертикального профиля сократить с удалением анкеров из горизонтальной плоскости, а вместо утолщения горизонтального элемента кронштейна установить стальные втулки вокруг тела болтов, так как при увеличении диаметра и количества болтов, а также толщины горизонтальной пластины, увеличиваются габариты, следовательно и масса со стоимостью. Разработанное конструктивное решение углового кронштейна на заключительной итерации доработки представлена на рис. 9.

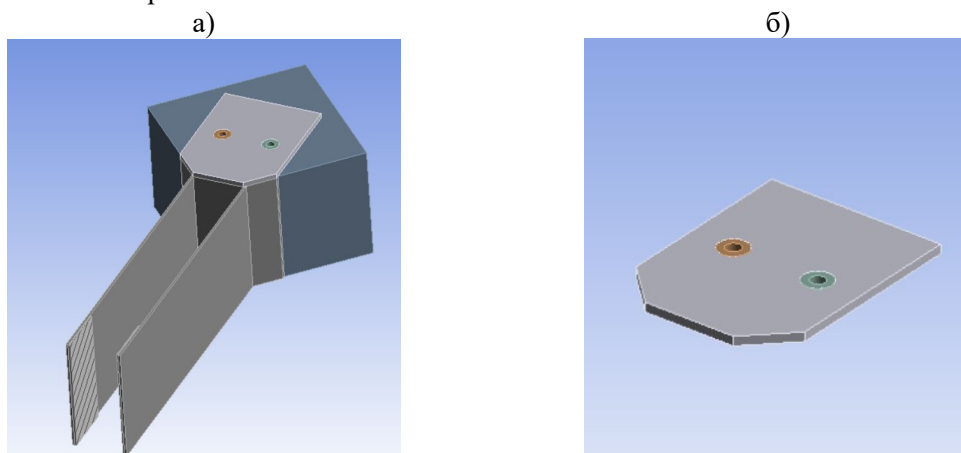


Рис. 9. Объемная модель рационального углового кронштейна: а) общий вид кронштейна со стальными втулками под анкеры и измененными геометрическими параметрами без горизонтальных анкеров, б) общий вид горизонтальной части со втулками (иллюстрация авторов)

Fig. 9. Three-dimensional model of a moderate corner bracket: a) general view of the bracket with steel bushings for anchors and modified geometric parameters without horizontal anchors, b) general horizontal view of the part with bushings (illustration by the authors)

Произведенные численные исследования несущей способности, проверки на смятие втулок и зоны, граничной с втулками, на смятие, а также расчет анкерных болтов по методике производителя разработанного углового несущего кронштейна с учетом вносимых изменений на различных этапах проверок, показали, что конструкция кронштейна обладает достаточной несущей способностью для восприятия всех эксплуатационных нагрузок и имеет наиболее рациональную геометрическую форму. Так значения напряжений не превышают 96 МПа при расчетном сопротивлении 100 МПа, а значения перемещений не превышают 1.17 мм при допустимых 1.4 мм, а подобранные геометрические параметры разработанного кронштейна позволяют наиболее рационально использовать сечение при снижении его материалоемкости на 17.3% по сравнению с известными решениями по прототипам [16, 17].

#### 4. Заключение

1. Произведен обзор существующих решений несущих кронштейнов для крепления светопрозрачных фасадов к монолитному железобетонному каркасу зданий.
2. Выполнена численная и экспериментальная оценка напряженно-деформированного состояния существующих решений несущих кронштейнов, в результате которой выявлено, что по предельным состояниям кронштейны находятся на границе допустимых значений, при значительной материалоемкости.
3. Разработаны новые конструктивные решения несущих кронштейнов, устанавливаемых на угол монолитных перекрытий, по которым получены патенты на изобретения РФ. Численная и аналитическая оценка несущей способности разработанных решений позволила получить наиболее рациональные геометрические размеры элементов кронштейна, что позволяет изменить схему работы кронштейна и повысить жесткость за счет крепления к верхней поверхности перекрытия путем устройства горизонтальной пластины;
4. Доказано, что новые конструктивные решения углового кронштейна стоечно-ригельной фасадной системы обеспечивают достаточную несущую способность, при этом позволяют снизить массу кронштейна на 17.3 % по сравнению с известным решением.

#### Список литературы/ References

1. Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W. Facade Construction Manual. Basel: Birkhäuser, 2004. 155 p.
2. Evers, W. F. (Ed.). Modern Facade Design: Building Envelopes in Contemporary Architecture. London: Routledge, 2017. 96 p.
3. Вахрушев К. Г., Озеров В. Ю., Звягинцев С. В., Мельник С. В. Проектирование и возведение светопрозрачных оболочек криволинейных поверхностей с применением стоечно-ригельных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2023. Вып. 10. С. 77-88. DOI 10.33622/0869-7019.2023.10.77-88. – EDN LQLZFW. [Vakhrushev K. G., Ozerov V. Yu., Zvyagintsev S. V., Melnik S. V. Design and construction of translucent shells of curved surfaces using rack-and-crossbar structures // Industrial and civil engineering. 2023. Vol. 10. P. 77-88. – DOI 10.33622/0869-7019.2023.10.77-88. – EDN LQLZFW.]
4. Филимонова, Н. А. Светопрозрачные фасады: сб. материалов международной конференции - Строительный институт/ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Екатеринбург, 2017. С. 574-579. – EDN ZFGSMN. [Filimonova, N. A. Translucent facades: dig. of art. of the international conference - Construction Institute / Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. Yekaterinburg, 2017. – P. 574-579. – EDN ZFGSMN.]
5. Lorking K. F., Mayne J. E. O. The corrosion of aluminium. J. Appl.: Chem. 2007. Vol. 11. P. 170–180.
6. Ambroziak A., Solarczyk M. T. Application and mechanical properties of aluminium alloys // Shell Structures: Theory and Applications. Proceedings of the 11th

- International Conference on Shell Structures: Theory and Applications, Vol.4. P. 525-528, 2018. DOI:10.1201/9781315166605-121
7. Захаров А. А. Особенности проектирования светопрозрачных фасадов и покрытий зданий с самонесущим каркасом из алюминиевых прессованных профилей // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2020. Т. 2(85). С. 57-63. – EDN KMPWVL. [Zakharov A. A. Features of designing translucent facades and coatings of buildings with a self-supporting frame made of aluminum pressed profiles // Socio-economic and technical systems: research, design, optimization. 2020. Vol. 2(85). P. 57-63. – EDN KMPWVL.]
  8. Lee A. D., Shepherd P., Evernden M. C., Metcalfe D. Optimizing the Cross-sectional Shapes of Extruded Aluminium Structural Members for Unitized Curtain Wall Facades // Structures. 2017. Vol. 10. P. 147–156.
  9. Naqash M. T., Formisano A., De Matteis G. Aluminium framing members in facades // Key Engineering Materials. 2016. Vol.710. P. 327–332.
  10. Шмурыгин П.А., Ефимов А.А. Влияние учета жесткости узлов на металлоемкость несущего каркаса// Научные исследования XXI века. 2021. С. 81-84. [Shmurygin P.A., Efimov A.A. The influence of taking into account the rigidity of nodes on the metal consumption of the supporting frame // Scientific research of the XXI century. 2021. P. 81-84]
  11. Ведяков И.И., Конин Д.В., Артамонов В.А., Егорова А.А., Ртищева И.В. Прочность и деформативность стеклянных конструкций при испытаниях на сжатие и изгиб // Вестник НИЦ Строительство. 2020. Т. 2 (25). С. 44-56. [Vedyakov I.I., Konin D.V., Artamonov V.A., Egorova A.A., Rtishcheva I.V. Strength and deformability of glass structures during compression and bending tests. Bulletin of the Scientific Research Center Construction. 2020. Vol. 2 (25). P. 44-56.]
  12. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. С. 12–30. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.12-30. EDN: WVLCGD [Tamrazyan A.G., Alekseev A.V. New methods of assessing structural changes for load-bearing systems of buildings and structures // Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering. 2020. Vol. 15. P. 12-30. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.12-30. EMAIL address: WVLCGD]
  13. Перельмутер А.В. Обратные задачи строительной механики // Вестник ТГАСУ. 2020. Т. 22. С. 83–101. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-83-101. EDN: FWMJUD [Perelmuter A.V. Inverse problems of structural mechanics // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. Vol. 22. P. 83-101. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-83-101. EDN: FWMJUD]
  14. Salakhutdinov M.A., Gimranov L.R., Kuznetsov I.L., Fakhrutdinov A.E., Nurgaleeva L.M. PFRP structures under the predominately short-term load. Magazine of Civil Engineering. 2020. 96(4). P. 3–14. DOI: 10.18720/MCE.96.1
  15. Kuznetsov I. L., Gainetdinov R. G. “New nodal connection of thin-walled cold formed profiles with a trapezoidal wall using separate welded bushings.” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 890 (2020): n. pag.
  16. Узел крепления направляющей закрытого профиля к кронштейну фасадной системы : пат. 2802984 Рос. Федерация. № 2023101487/03; заявл. 24.01.2023; опубл. 05.09.2023. 9 с. [Attachment point of the closed profile guide to the bracket of the facade system: patent 2802984 Rus. Federation No. 2023101487/03; decl. 24.01.2023; publ. 05.09.2023. 9 p.]
  17. Узел крепления направляющей к кронштейну фасадной систем: пат. 2802637 Рос. Федерация № 2022135087/03; заявл. 29.12.2022; опубл. 30.08.2023. 8 с. [Mounting assembly of the guide to the bracket of the facade system: patent 2802637 Rus. Federation No. 2022135087/03; decl. 29.12.2022; publ. 30.08.2023. 8 p.]
  18. Галямичев А.В., Ветровая нагрузка и ее действие на фасадные конструкции// Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. Т. 9 (60). С. 23-27

[Galyamichev A.V., Wind load and its effect on facade structures // Construction of unique buildings and structures. 2017. Vol. 9 (60). P. 23-27]

### **Информация об авторах**

**Антонов Анатолий Сергеевич**, аспирант, старший преподаватель, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: antonov01234@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6750-4172

**Алитдинова Регина Эдуардовна**, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: regina\_alitdinova@mail.ru;

**Шмелев Геннадий Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация;

E-mail: gn.shmelev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6472-9413

**Валиев Ильнар Рамилович**, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: ilnar.valiev.99.99@mail.ru.

### **Information about the authors**

**Anatoly S. Antonov**, post-graduate student, senior lecturer, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: antonov01234@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6750-4172

**Regina E. Alitdinova**, master of science, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: regina\_alitdinova@mail.ru

**Gennady N. Shmelev**, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: gn.shmelev@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6472-9413

**Ilnar R. Valiev**, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: ilnar.valiev.99.99@mail.ru