

На правах рукописи

**ТЕРЕШКОВА Александра Викторовна**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА  
ФАСАДНЫХ СИСТЕМ С ВЕНТИЛИРУЕМЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ**

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск – 2007

Работа выполнена в федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: член-корр. РААСН, доктор технических наук, профессор  
**Енджиевский Лев Васильевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Деруга Анатолий Петрович**

доктор технических наук, доцент  
**Овсянников Сергей Николаевич**

Ведущая организация: **ОАО «ЦНИИЭП жилища»**

Защита состоится 9 ноября 2007 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.08 при федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» по адресу:

660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, ИАС СФУ, аудитория К-120.

Тел. (8-3912) 44-69-40; факс (8-3912) 44-58-60; e-mail end-lev@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института архитектуры и строительства Сибирского федерального университета

Автореферат разослан « 8 » октября 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, профессор

**В.Н. Шапошников**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью экономии топливно-энергетических ресурсов за счет сокращения тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий и сооружений. Применение фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором в условиях Сибири делает возможным создание современных ограждающих конструкций, а также позволяющих сократить эксплуатационные затраты зданий за счет снижения теплопотерь через наружные ограждения.

Фасадные системы с вентилируемым воздушным зазором, развитие которых началось несколько лет назад в условиях климата Сибири, к сожалению, имеют слабые места, требующие детальной и качественной проработки. Копирование конструктивных решений, используемых в европейской зоне, без учета особенностей климата, не подкрепленное методиками исследования изменения их свойств в условиях частых изменений температуры, влажности, ветровых нагрузок и других воздействий может привести к негативным проявлениям.

Конструктивные схемы фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором должны с минимальными эксплуатационными затратами обеспечивать возможность мониторинга работоспособности всех элементов системы и в необходимых случаях проведения ремонтно-реконструкционных работ.

**Цель диссертационной работы:** на основе экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния уточнение расчетной модели деформирования и алгоритмов расчета, а также совершенствование конструктивных решений кронштейнов и других элементов несущего каркаса фасадных систем.

**Объектами исследования** являются несущие конструкции фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором.

**Методика исследования – экспериментально-теоретическая:** в работе реализован комплексный подход к проблеме, включающий конструктивные проработки; математическое моделирование; экспериментальные исследования в лабораторных условиях, в том числе на натурных моделях; численно-аналитические исследования и сопоставительный анализ результатов.

### **Научная новизна:**

- обоснование нового типа расчетной модели кронштейна. Переход от традиционной стержневой схемы к модели с учетом сдвига;
- новая формулировка задачи контакта опорных частей кронштейнов и стенового ограждения, как задачи с односторонними связями, что предопределяет использование либо экспериментальных данных, либо итерационного алгоритма в части обоснования расчетных схем на каждом этапе загрузки;

- результаты экспериментально-теоретических исследований предлагаемых типов кронштейнов (патент на полезную модель РФ №61754) и других конструктивных усовершенствований (патенты на полезные модели РФ № 54383, № 60573, № 61750), обосновывающие их эффективность.

**Практическая значимость.** Результаты работы приняты для практического использования при проектировании, изготовлении и монтаже несущих конструкций ООО «Краспан», а также в организации ООО «ЭКо-Край» в привязке к программе энергосбережения.

**Достоверность результатов:** в части обоснования алгоритмов расчета соответствием численных решений и экспериментальных данных с достаточным набором количества повторных испытаний и измерений; в части обоснования эффективности новых конструктивных решений – экспериментальными данными.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции и выставке «Сибири – новые технологии в архитектуре, строительстве и ЖКХ» (Красноярск, 2005г.); на XXIV региональной научно-технической конференции «Проблемы строительства и архитектуры» (Красноярск, 2006г.); на XXV региональной научно-технической конференции «Проблемы строительства и архитектуры» (Красноярск, 2007г.).

**Публикации.** Результаты диссертационных исследований опубликованы в 11 работах, включая 1 статью в журнале, рекомендованном ВАК России, и четыре патента на полезные модели.

**На защиту выносятся:**

- результаты экспериментальных и теоретических исследований несущих конструкций фасадных систем;
- усовершенствованные конструктивные решения несущих элементов, опорных частей кронштейнов и их крепления к стеновому ограждению, узловое сопряжение кронштейна с вертикальным профилем, а также экспериментально-теоретический анализ их работы;
- анализ расчетных схем несущего каркаса фасадной системы;
- обоснование расчетных моделей и алгоритмов расчета различных типов кронштейнов;
- технико-экономический анализ предложенных решений.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из: введения, четырех глав, общих выводов и списка использованных источников из 115 названий и восьми приложений. Общий объем работы изложен на 231 странице. Основной текст диссертации 156 страниц, включая 58 таблиц и 81 рисунок.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, поставлена цель и определены задачи исследования. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** дано технико-экономическое обоснование повышения уровня теплозащиты зданий и снижения теплопотерь через ограждающие конструкции.

Рассмотрен обзор основных систем вентилируемых фасадов, применяемых в России и методы расчета их несущих каркасов.

По результатам натурного освидетельствования фасадов на объектах г. Красноярска выявлены их основные дефекты с целью оценки эксплуатационных характеристик конструктивных решений фасадных систем и причины их образования.

Представлены выводы, выполнено обоснование задач исследования.

**Во второй главе** приведены результаты экспериментальных исследований и предложения по совершенствованию конструктивных решений несущих элементов подсистемы фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором.

Данные исследования ориентированы на изучение работы и анализ напряженно-деформированного состояния несущих элементов подконструкции фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором, а также уточнение расчетной модели конструкций несущего каркаса. Последнее обусловлено задачей упрощения представления их статической работы и оценки применимости упрощенной схемы для анализа напряженно-деформированного состояния. Для выявления «слабых» мест несущего каркаса все конструкции испытывались до разрушения.

В качестве объектов для изучения деформированной схемы и напряженно-деформированного состояния выбраны кронштейны, применяемые в фасадных системах «Краспан» и «Волна» (рис.1). Испытания кронштейнов проводились на вертикальную сосредоточенную нагрузку, приложенную в месте крепления кронштейна и вертикального профиля.

В ходе экспериментов измеряли вертикальные и горизонтальные перемещения характерных точек кронштейна на каждом шаге нагружения. Для определения прогибов (вертикальных перемещений) кронштейнов были установлены прогибомеры ПАО-6 с ценой деления 0,01 мм. Изменения горизонтальных перемещений измерялись индикаторами ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Деформации в несущих элементах, измеряли при помощи проволочных тензорезисторов с базой 5 мм по ТУ 25-06.2002-80 номинальным сопротивлением 200,7 Ом, чувствительностью 2,16. Показания тензорезисторов регистрировали при помощи измерительной тензометрической системы СИИТ-3, и обрабатывали средствами программы MS-Excel.

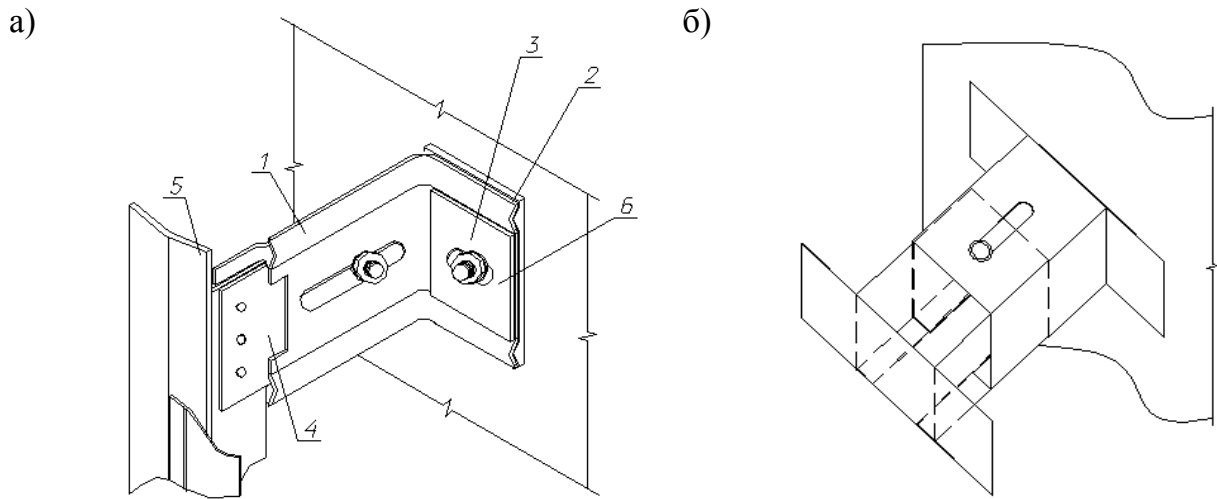


Рис. 1. Кронштейны фасадных систем: а – типа «Краспан»; б – типа «Волна»

На экспериментальный образец после обкатки, нагрузка прикладывалась ступенями с увеличением на каждой ступени на 10% от нормативной, после достижения расчетной нагрузки – ступени составляли 10% от расчетной.

Количество испытаний по каждому типу кронштейна от трех до десяти. В процессе статистической обработки экспериментальных данных получены усредненные значения по испытаниям, которые представлены в диссертации.

*Кронштейны фасадной системы типа «Краспан».*

Кронштейн состоит из двух частей – подвижной и неподвижной, Г-образной формы с опорной частью, примыкающей к стеновому ограждению.

На рис. 2 представлены графики «прогиб-нагрузка». Здесь же приведены эмпирические формулы зависимости прогиба от нагрузки, полученные в результате обработки экспериментальных данных средствами программы MS-Excel.

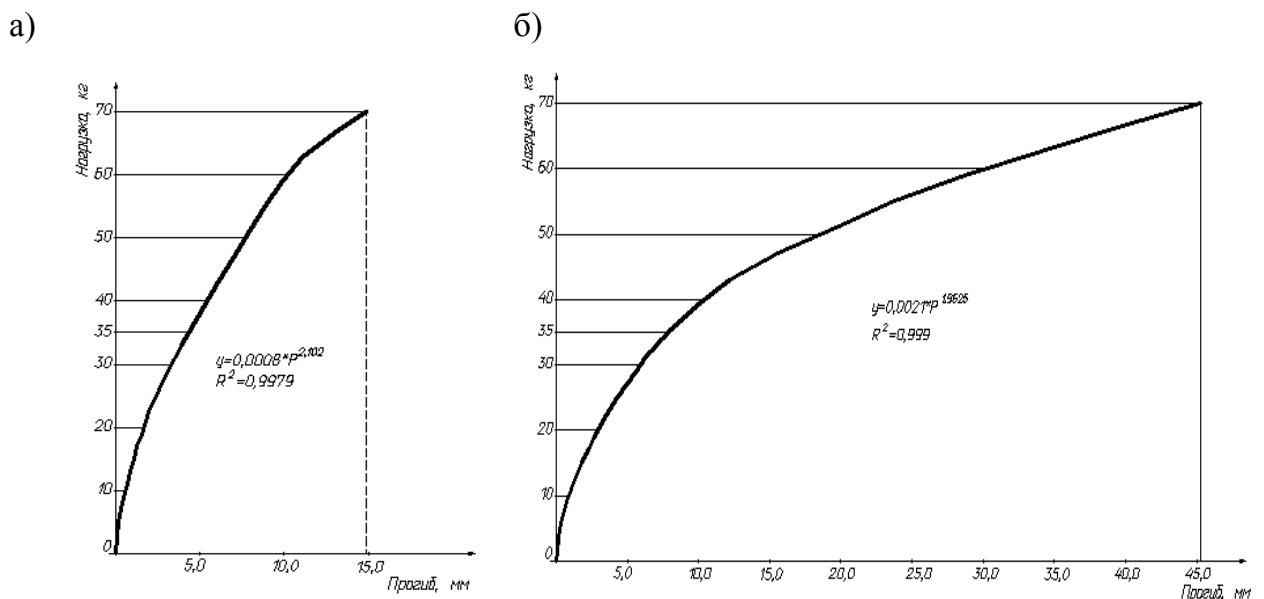


Рис. 2. Графики «прогиб-нагрузка»: а - для кронштейна из оцинкованной стали; б - для кронштейна из алюминиевых сплавов

При расчетной нагрузке  $P=35\text{кг}$  прогиб кронштейна составил: из оцинкованной стали – 4,37мм, а из алюминиевых сплавов – 7,87мм.

Предельный прогиб несущего элемента в соответствии с нормами:

$$f = \frac{l}{120} = \frac{180}{120} = 1,5\text{мм.}$$

Экспериментально полученные значения превышают предельный прогиб уже при 20кг.

На рис.3 (а - д) представлены механизмы развития деформаций кронштейна вылетом 180мм с усиливающей шайбой стандартной формы поперечного сечения, крепление к стене осуществляется одним болтом, расположенным в центре тяжести опорной части кронштейна.

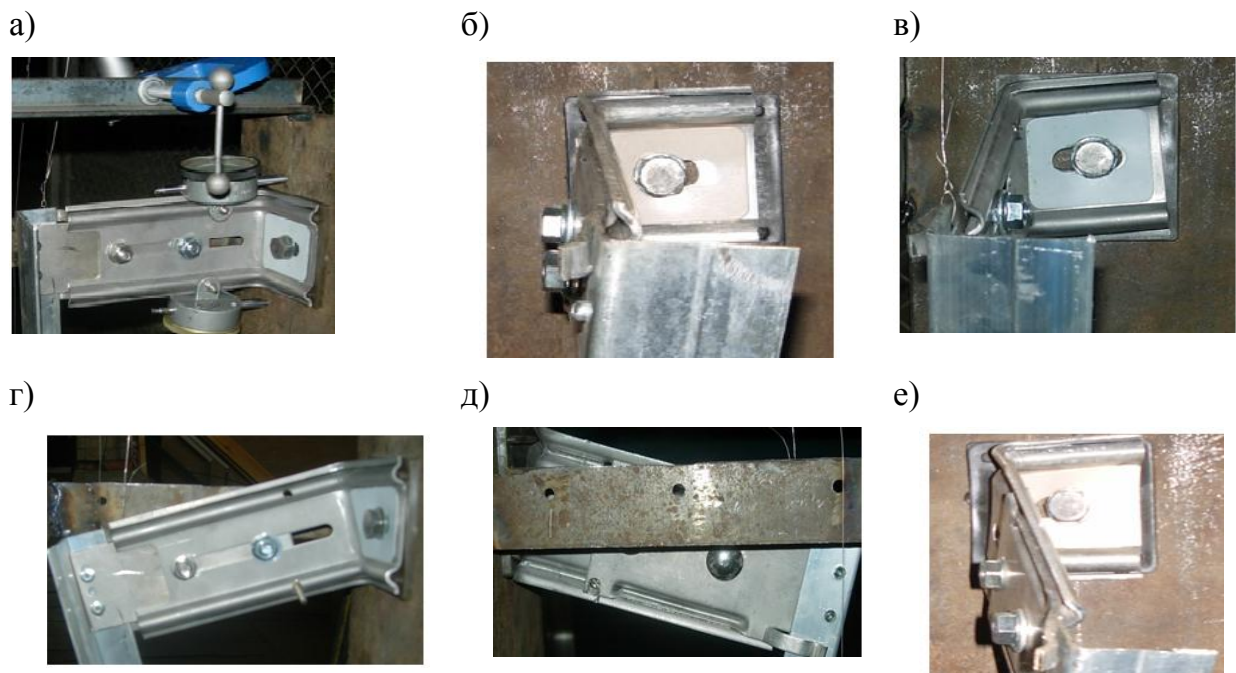


Рис. 3. Механизмы развития деформаций кронштейна:  
а – до эксперимента; б – е – деформированное состояние: общий вид (б), опорная часть кронштейна (в), общий вид спереди (г), общий вид сзади (д), разрушение (е)

*Гипотеза работы кронштейнов фасадной системы типа «Краспан»:*

На первых этапах при нагрузке от 0 до 20кг – происходит обжатие паронитовой прокладки и устранение люфтов (неплотное примыкание опорной части кронштейна к прокладке). Сам кронштейн работает как жесткий элемент;

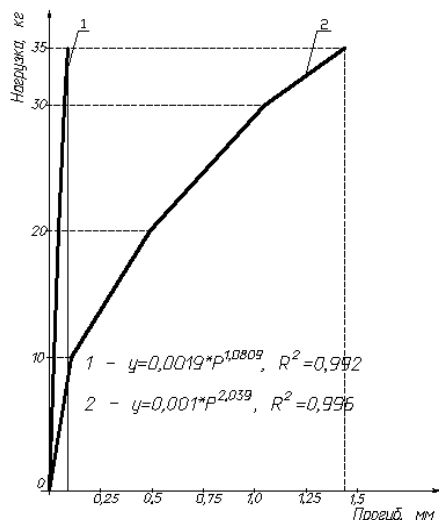
Далее при нагрузке от 20кг - к деформациям от обжатия прокладки добавляются деформации за счет закручивания опорной части и прогиба самого кронштейна.

Для изучения влияния паронитовой прокладки на прогиб кронштейнов проведены серии испытаний:

1. кронштейн без паронитовой прокладки;
2. с частичным применением – паронитовая прокладка устанавливается после выбора люфтов в кронштейне.

Графики зависимости «прогиб – нагрузка» представлены на рис. 4.

а)



б)

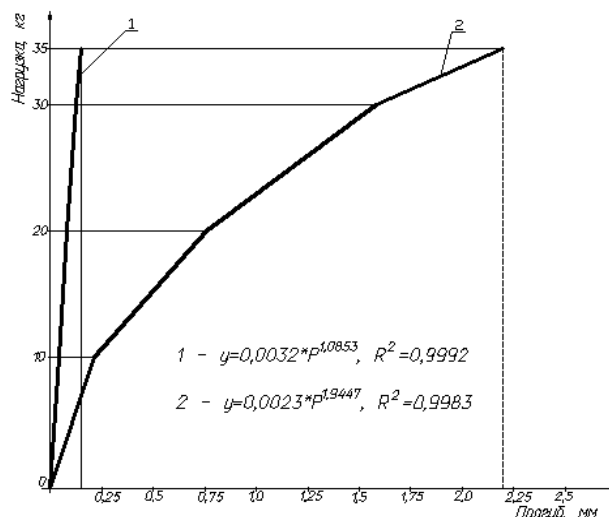


Рис.4. Графики зависимости «прогиб - нагрузка»:

а – кронштейнов из оцинкованной стали; б – кронштейнов из алюминиевых сплавов: 1 - без прокладки, 2 – с ее частичным применением

При применении паронитовой прокладки в экспериментах наблюдаются увеличения прогибов более чем на порядок, ввиду отсутствия контроля за натяжением болта анкерного крепителя и недостаточной плотности примыкания прокладки к стене и опорной части кронштейна, а также ее пониженной жесткостью. Согласно проведенным экспериментальным исследованиям следует, что кронштейн типа «Краспан» работает не только на изгиб в плоскости перпендикулярной плоскости стены, но также происходит закручивание его опорной части. Анализ результатов испытаний свидетельствует о появлении больших прогибов и сложного деформированного состояния.

С целью увеличения жесткостных и прочностных свойств кронштейна предложены варианты совершенствования конструктивного решения опорной части несущего элемента:

- перенос анкерного крепителя вверх относительно продольной оси кронштейна;
  - увеличение толщины усиливающей шайбы до 3 мм;
  - изменение профиля усиливающей шайбы за счет введения продольных ребер жесткости по краям, или с одиночным с верхним продольным ребром жесткости.
- При этом шайба выполнена в виде профиля, повторяющего поперечное сечение опорной части кронштейна;



- изменение профиля усиливающей шайбы за счет добавления отгиба. При этом шайба выполнена с конфигурацией поперечного сечения, повторяющей профиль поперечного сечения кронштейна, с наличием продольных ребер жесткости. Высота отгиба составляет 1-2 см;

- изменение формы усиливающей шайбы - вытянутая вверх относительно опорной части кронштейна. Нижняя часть шайбы повторяет профиль поперечного сечения опорной части кронштейна (с продольными ребрами жесткости), а вытянутая - прямоугольной формы. При этом несущий элемент крепится к основанию двумя анкерными крепителями.

На рис. 5, а - б представлены графики «прогиб-нагрузка» для кронштейнов из оцинкованной стали и из алюминиевых сплавов, закрепленных через паронитовую прокладку, с разными вариантами усиливающей шайбы и расположением анкерного крепителя.

В табл. 1 и 2 приведены эмпирические формулы зависимости деформаций от нагрузки, полученные в результате обработки экспериментальных данных средствами программы MS-Excel, для графиков представленных на рис. 5, а-б.

Таблица 1

## Кронштейн из оцинкованной стали

Поз	Поперечное сечение усиливающей шайбы	Расположение анкерного болта	Эмпирическая формула
1	Стандартная форма t=2мм	По центру	$y=0,0008 P^{2,102}, R^2=0,997$
2		Перенесен выше	$y=0,0042 P^{1,8831}, R^2=0,9981$
3	Стандартная форма t=3мм	По центру	$y=0,0041 P^{1,8624}, R^2=0,9995$
4		Перенесен выше	$y=0,0012 P^{2,1032}, R^2=0,9996$
5	С ребрами жесткости по краям t=2мм	По центру	$y=0,0009 P^{2,1371}, R^2=0,9978$
6		Перенесен выше	$y=0,0007 P^{2,1739}, R^2=0,998$
7	С наличием верхнего ребра жесткости t=2мм	По центру	$y=0,0011 P^{2,1205}, R^2=0,9951$
		Перенесен выше	$y=0,0008 P^{2,1463}, R^2=0,9991$

Таблица 2

## Кронштейн из алюминиевых сплавов

Поз	Поперечное сечение усиливающей шайбы	Расположение анкерного болта	Эмпирическая формула
1	Стандартная форма t=2мм	По центру	$y=0,0021 P^{1,9625}, R^2=0,9917$
2		Перенесен выше	$y=0,0027 P^{2,1818}, R^2=0,9783$
3	Стандартная форма t=3мм	По центру	$y=0,004 P^{2,0366}, R^2=0,9939$
4		Перенесен выше	$y=0,0044 P^{1,8896}, R^2=0,9996$
5	С ребрами жесткости по краям t=2мм	По центру	$y=0,0027 P^{2,001}, R^2=0,997$
6		Перенесен выше	$y=0,0021 P^{1,969}, R^2=0,9992$
7	С наличием верхнего ребра жесткости t=2мм	По центру	$y=0,0029 P^{1,9972}, R^2=0,9954$
8		Перенесен выше	$y=0,002 P^{1,9954}, R^2=0,9993$

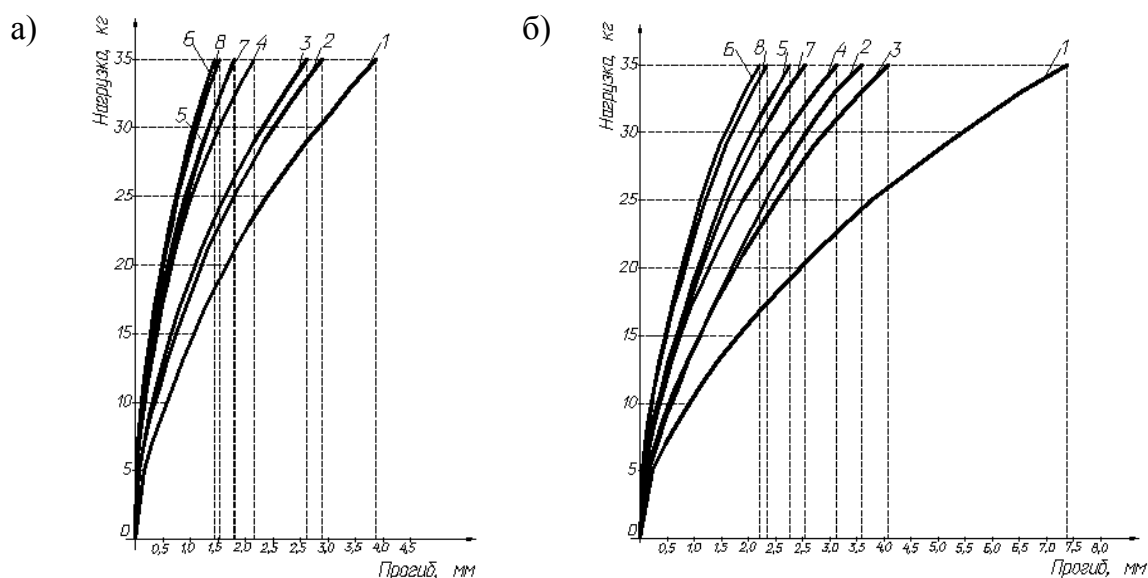


Рис.5. Графики «прогиб-нагрузка» для кронштейнов:

а – из оцинкованной стали; б – из алюминиевых сплавов:

- 1 – 2 – усиливающая шайба стандартной формы поперечного сечения  $t=2\text{мм}$ : анкерный крепитель расположен по центру опорной части (1); перенесен выше с эксцентриситетом относительно продольной оси кронштейна (2);
- 3 - 4 – усиливающая шайба стандартной формы поперечного сечения  $t=3\text{мм}$ : анкерный крепитель расположен по центру опорной части (3); перенесен выше с эксцентриситетом относительно продольной оси кронштейна (4);
- 5 - 6 – усиливающая шайба с ребрами жесткости по краям  $t=2\text{мм}$ : анкерный крепитель расположен по центру опорной части (5); перенесен выше с эксцентриситетом относительно продольной оси кронштейна (6);
- 7 - 8 – усиливающая шайба с наличием только верхнего ребра жесткости  $t=2\text{мм}$ : анкерный крепитель расположен по центру опорной части (5); перенесен выше с эксцентриситетом относительно продольной оси кронштейна (6)

Предлагаемые конструктивные решения усиления опорной части за счет применения разных типов усиливающих шайб улучшают работу кронштейна, уменьшают деформативность и прогиб кронштейна в целом за счет более жесткого закрепления, хотя механизм деформирования аналогичен. При сравнении кронштейнов традиционного конструктивного решения и кронштейнов с усиленными опорными частями деформативность уменьшается: при переносе анкерного крепителя вверх с эксцентриситетом относительно продольной оси - в 1,2 – 1,9 раза; при увеличении толщины усиливающей шайбы до 3мм – в 1,5 - 2 раза; изменении профиля усиливающей шайбы за счет введения продольных ребер жесткости по краям или только верхнего ребра – в 2 - 3 раза.

Прогиб кронштейна, закрепленного через паронитовую прокладку больше по сравнению с прогибом кронштейна, закрепленного без нее, что обусловлено упругой податливостью паронитовой прокладки.

### *Т-образный кронштейн.*

Для увеличения вылета несущего элемента кронштейна системы типа «Краспан» без потери его несущей способности предложено конструктивное решение Т-образного кронштейна, состоящего из двух неподвижных Г-образных частей длиной 150мм и подвижной части» (рис. 6).

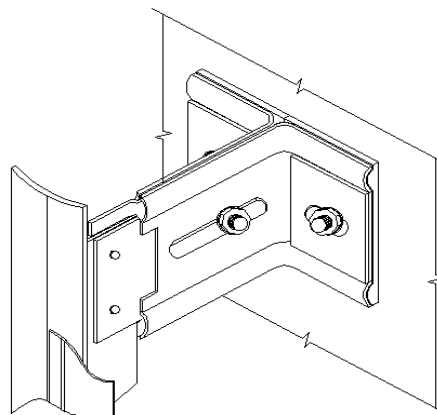


Рис. 6. Общий вид Т-образного кронштейна

Экспериментальные исследования Т-образных кронштейнов из оцинкованной стали проводились на образцах вылетом 215мм, выполненных из неподвижных и подвижной частей кронштейнов типа «Краспан»:

Образец 1 - состоит из двух сваренных между собой неподвижных частей и подвижной, которые соединены между собой только болтовым соединением.

Образец 2 - состоит из подвижной и неподвижной частей, которые соединены между собой только болтовым соединением, при этом к неподвижной части приварена опорная Г-образной формы.

Образец 3 - состоит из подвижной и неподвижной частей, которые соединены между собой болтовым соединением и дополнительно самонарезающими винтами, при этом к неподвижной части приварена опорная Г-образной формы.

На рис. 7 представлены графики «прогиб-нагрузка» для Т-образных кронштейнов, закрепленных через паронитовую прокладку.

В табл. 3 приведены эмпирические формулы зависимости деформаций Т-образных кронштейнов от нагрузки для графиков, представленных на рис. 7.

Таблица 3

#### Эмпирические формулы для Т-образных кронштейнов

Образец	Эмпирическая формула
1	$y=0,0009P^{2,1233}, R^2=0,9899$
2	$y=0,0005P^{2,6562}, R^2=0,9912$
3	$y=0,0044P^{1,8007}, R^2=0,9166$

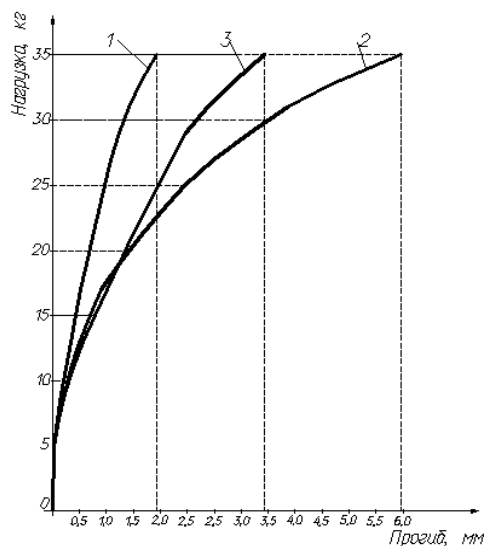


Рис. 7. Графики «прогиб-нагрузка» Т-образного кронштейна:

1 – состоит из двух сваренных между собой неподвижных частей и подвижной (образец 1); 2 – состоит из подвижной и неподвижной частей, к которой приварена опорная Г-образной формы (образец 2); 3 – то же, неподвижная и подвижная части дополнительно соединены между собой самонарезающими винтами (образец 3)

Наиболее жесткий образец 1 (состоит из двух сваренных между собой неподвижных частей и подвижной, соединенных только болтовым соединением). Разрушение 2-го образца произошло при нагрузке 55кг (повернулся относительно болтового соединения). При дополнительном соединении самонарезающими винтами (образец 3) несущая способность кронштейна увеличилась примерно в 2-3 раза.

По проведенным экспериментам вариант усиления несущих элементов фасадной системы в виде Т-образных кронштейнов при увеличении вылета до максимальной величины до 215мм показал хороший результат по сравнению с традиционным конструктивным решением: деформативность уменьшилась в 1,2-2 раза.

*Кронштейн фасадной системы типа «Волна».*

Кронштейн фасадной системы типа «Волна» С-образного поперечного сечения состоит из базы и насадки, которые крепятся между собой болтовым соединением.

Экспериментальные образцы кронштейнов типа «Волна»:

1 - Вылет кронштейна – 115 мм, толщина 1,5мм. Подвижная (насадка) и неподвижная (база) части скреплены только одним болтом, который регулирует вылет кронштейна.

2 - Вылет кронштейна - 115 мм, толщина 2мм. Подвижная и неподвижная части скреплены не только болтом, который регулирует вылет кронштейна, но и тремя самонарезающими винтами (один сверху и два по бокам).

3 - Вылет кронштейна – 200мм, толщина 2мм. Подвижная и неподвижная части скреплены болтом, который регулирует вылет кронштейна и тремя самонарезающими винтами (один сверху и два по бокам).

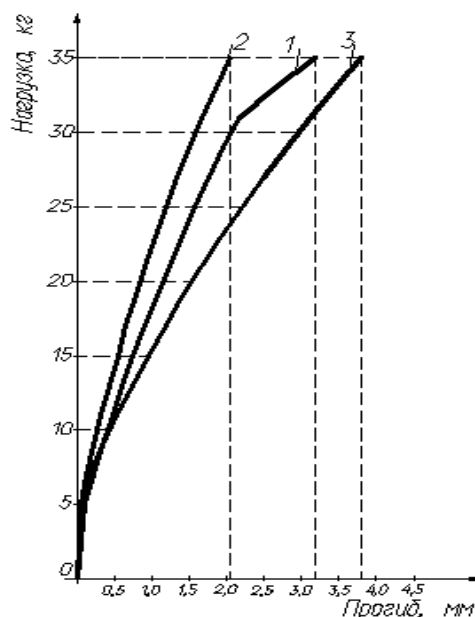


Рис. 8. Графики «прогиб - нагрузка» кронштейнов типа «Волна»:  
 а - образец 1, вылет 115мм; б – образец 2, вылет 115мм;  
 в – образец 3, вылет 200мм

По проведенным экспериментальным исследованиям выявлено, что деформативность кронштейна фасадной системы типа «Волна» меньше, чем кронштейна типа «Краспан». Однако они подтверждают и недостаток несущего элемента - нижние полки при приложении нагрузки «разъезжаются». Это происходит за счет незамкнутости поперечного сечения кронштейна.

В качестве совершенствования конструктивного решения кронштейна фасадной системы типа «Волна» нами предложено решение кронштейна коробчатой формы поперечного сечения (рис.9).

*Кронштейн коробчатого поперечного сечения.*

Экспериментальные исследования проводились на двух образцах:

1 – кронштейн вылетом 115мм толщиной 1мм, состоящий из подвижной и неподвижной частей замкнутого сечения, соединенных между собой только болтовым соединением сверху;

2 – кронштейн вылетом 115мм толщиной 1мм, состоящий из подвижной и неподвижной частей замкнутого сечения, соединенных между собой болтовым соединением сверху и самонарезающими винтами по бокам.

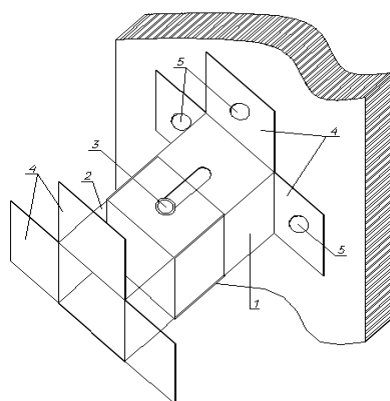


Рис. 9. Кронштейн коробчатой формы поперечного сечения

График «прогиб - нагрузка» для кронштейнов коробчатой формы поперечного сечения представлены на рис. 10. В табл. 4 приведены эмпирические формулы по экспериментальным данным для кронштейнов коробчатой формы поперечного сечения

Таблица 4

Эмпирические формулы для кронштейнов коробчатого сечения

Образец	Эмпирическая формула
1	$y=0,0061 \cdot P^{1,6257}, R^2=0,991$
2	$y=0,0032 \cdot P^{1,0502}, R^2=0,9994$

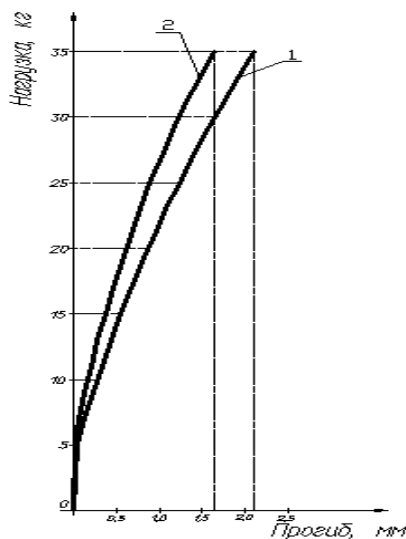


Рис. 10. Графики «прогиб - нагрузка» кронштейнов коробчатой формы поперечного сечения: а – образца № 1; б – образца № 2

Предложенное конструктивное решение кронштейна коробчатого поперечного сечения по отношению к несущему элементу фасадной системы типа «Волна» позволяет снизить металлоемкость и трудоемкость при изготовлении без потери его несущей способности.

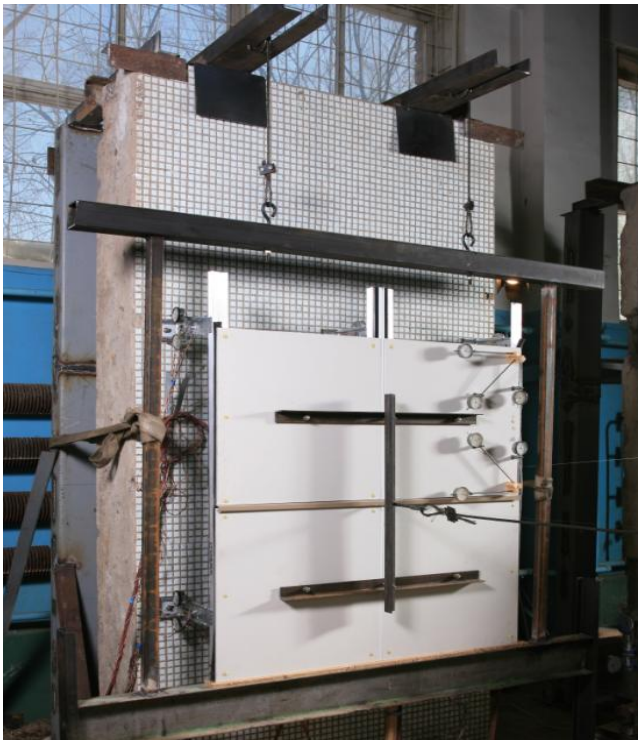
*Фрагменты фасадной системы типа «Краспан».* Исследования проводилась по договору о сотрудничестве с ООО «Краспан» от 05.06.2005г. Данные экспери-

менты выполнены для выявления особенностей работы отдельного элемента в системе.

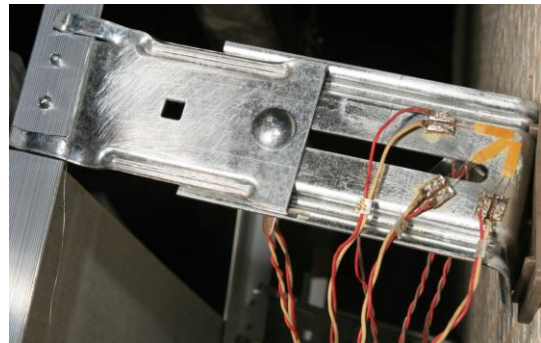
В качестве объектов для экспериментального исследования фасадной системы типа «Краспан» принимались фрагменты размером 1200\*1200мм с облицовкой «КраспанКолор» (крепление к вертикальным профилям – фасадные заклепки) и «КраспанГранит» (крепление к профилям при помощи планок-держателей).

При испытаниях несущего каркаса к фрагменту прикладывали вертикальную (сосредоточенная или распределенная) и горизонтальную нагрузки. Вертикальная нагрузка прикладывали на облицовочную панель при помощи траверсы, закрепленной на основании. Горизонтальную нагрузку прикладывали равномерно-распределенной по поверхности фрагмента от грузовой платформы через гибкий трос, систему направляющих роликов и переводных балок (рис. 11).

а)



б)



в)

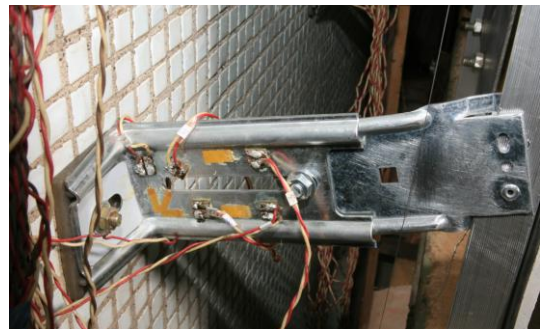


Рис. 11. Испытания фрагментов: а – общий вид до испытания;

б – значительный прогиб кронштейна;

в – срез заклепок в месте крепления кронштейна к вертикальному профилю

На 1-ом этапе нагружения прикладывали вертикальную нагрузку  $P=20\%$  от нормативной в течение 10мин. Далее производили разгрузку образца.

Последующие этапы нагружения:

- доведение вертикальной нагрузки до нормативной, при этом горизонтальная нагрузка равна нулю;
- доведение горизонтальной нагрузки до нормативной, при этом вертикальная нагрузка равна нормативной;

- доведение вертикальной нагрузки до расчетной, при этом горизонтальная нагрузка равна нормативной;
- доведение горизонтальной нагрузки до расчетной, при этом вертикальная нагрузка равна расчетной;
- до разрушения фрагмент системы доводили вертикальной нагрузкой, при этом сохраняя расчетную горизонтальную.

По результатам экспериментальных исследований фрагментов фасадных систем выявлено, что кронштейн в системе работает с несущественными отклонениями от работы по схеме отдельного элемента. Механизм развития деформаций кронштейна аналогичен. Разрушение произошло в месте крепления вертикального несущего профиля к кронштейну (срез заклепок) при вертикальной нагрузке на один кронштейн – 98,55кг.

Для усиления узла сопряжения кронштейна с вертикальным профилем и увеличения жесткости и несущей способности конструкции в целом предложено выполнить подвижную часть кронштейна с уширением. Это связано с необходимостью увеличения количества заклепок. При этом как минимум два отверстия под крепежные элементы (заклепки) должны быть расположены в уширении (рис. 12).

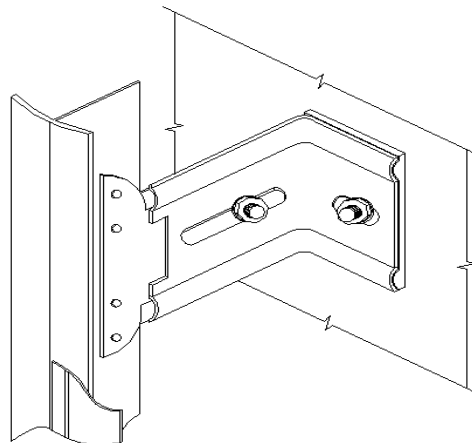


Рис. 12. Общий вид предложенного узла сопряжения кронштейна с вертикальным профилем

**В третьей главе** проведен системный анализ напряженно-деформированного состояния несущих элементов и подсистемы в целом. Кронштейн рассмотрен как консольная балка с расчетной схемой - жестко защемленный консольный стержень (рис. 13).

Исследования проводились на кронштейнах систем типа «Краспан», «Волна», коробчатого поперечного сечения и Т-образных.



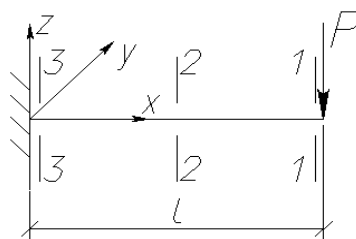


Рис. 13. Расчетная схема кронштейна

Первоначально анализ прогибов проводился на ЭВМ и ручным счетом (формула 1) с использованием стержневой модели в классической постановке. Далее с использованием программных комплексов SCAD и Lira по континуальным схемам, представляя кронштейн как систему, состоящую из пластинчатых элементов.

$$y_{1z} = \frac{P}{EJ_x} \left( l \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) \quad (1).$$

Ввиду существенного расхождения решений по стержневой и континуальным схемам нами выполнены аналитические исследования с использованием стержневой модели с учетом сдвига (формула 2).

$$y = \frac{P}{EJ_x} \left( l \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) + \frac{kP}{GA} x \quad (2).$$

Здесь  $k$  - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по высоте сечения.

Сравнение максимальных значений прогиба по экспериментальным данным ( $y_{ЭКСП}$ ), по классической стержневой модели ( $y_M$ ), по стержневой модели с учетом сдвига ( $y$ ) и МКЭ по континуальной схеме приведены в табл.5 для кронштейнов: типа «Краспан» из оцинкованной стали (1) и из алюминиевых сплавов (2); типа «Волна» (3); коробчатого поперечного сечения (4); Т-образного (5).

Таблица 5

Экспериментальные данные		Результаты по численным решениям				
Вариант	$y_{ЭКСП}$ , мм	$y_M$ , мм	$y$ , мм	МКЭ	$\frac{y - y_M}{0,01y}$ , %	$\frac{y - y_{МКЭ}}{0,01y}$ , %
1	0,085	0,07	0,078	0,078	8,97	0
2	0,145	0,12	0,131	0,13	8,4	-0,76
3	0,0145	0,0113	0,0133	0,013	15,4	-2,3
4	0,019	0,015	0,018	0,018	15,7	0
5	0,09	0,0732	0,0859	0,086	14,8	-0,7

Результаты расчета прогиба кронштейнов с учетом сдвига хорошо согласуются с численными решениями МКЭ по континуальной схеме.

В связи с тем, что конструктивное решение кронштейна представляет собой более сложную систему, чем консольная балка, нами также рассмотрена расчетная схема - Г-образный стержень, защемленный по центру его опорной части, где предполагается болтовое соединение (рис. 14).

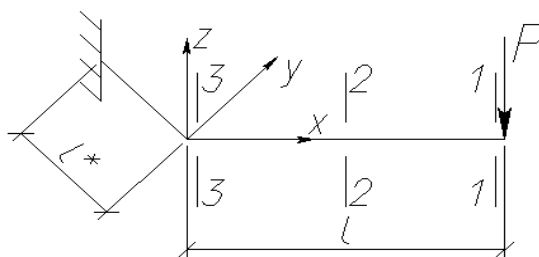


Рис. 14. Расчетная схема - Г-образный стержень, защемленный по центру его опорной части

Сопоставительный анализ полученных результатов показывает: в схеме 1 (рис. 13) кронштейн работает на изгиб, а в схеме 2 (рис. 14) опорная часть работает на кручение с изгибом, а сам стержень на изгиб с поворотом в двух плоскостях как абсолютно жесткий стержень.

В инженерной практике для уменьшения закручивания с отгибом в опорной части вводят усиливающую шайбу толщиной 2мм, которая как показывают численные исследования уменьшает максимальный прогиб: для кронштейнов из оцинкованной стали в 3,8 раза, а для кронштейнов из алюминиевых сплавов в 2,25.

Фактически из-за контакта со стеновым ограждением опорная часть находится в условиях стесненного кручения. В эксперименте это проявляется как частичное закручивание с отгибом. Принятая стержневая расчетная модель не позволяет учесть специфику такого сложного деформированного состояния.

При аналитическом расчете (рис.15) дополнительно по сравнению с расчетом по схеме – жестко защемленный консольный стержень (рис.13) нами произведен учет изгиба опорной части и кручения с описанием по Даркову А.В. и Феодосьеву В.И., предполагая, что прогиб ( $y$ ) кронштейна формируется из собственного, как консольного стержня ( $y_1$ ), и за счет изгиба и кручения опорной части ( $y_2$ ;  $y_3$ ).

$$\text{Максимальный прогиб кронштейна: } y_{\max} = y_1 + y_2 + y_3, \quad (4)$$

где  $y_1 = \frac{P \cdot l^3}{3EJ_x}$  - прогиб как жестко защемленного консольного стержня;

$y_2 = \frac{P \cdot l^{*3}}{3EJ_x}$  - прогиб кронштейна за счет изгибной деформации его опорной части;

$y_3 = l \cdot \text{tg} \varphi$  - прогиб за счет кручения опорной части кронштейна.

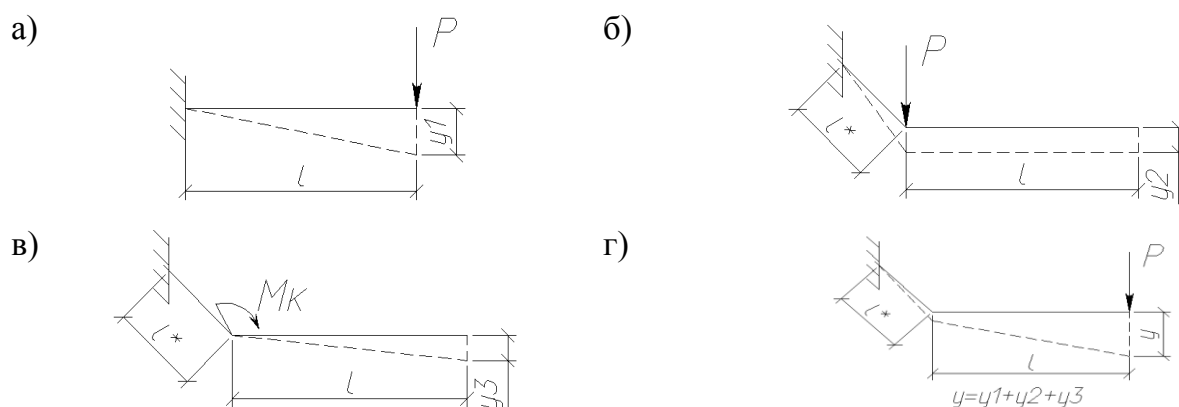


Рис. 15. Модель формирования прогиба в кронштейне: а – расчетная схема для расчета прогиба  $y_1$ ; б - расчетная схема для расчета прогиба  $y_2$ ; в - расчетная схема для расчета прогиба  $y_3$ ; г – расчетная схема для расчета прогиба  $y$

При расчете кронштейна, как Г-образного стержня, разница аналитических и численных решений не превышает: для кронштейнов из оцинкованной стали – 5,0%, а для кронштейнов из алюминиевых сплавов – 4,2%.

Учитывая, что опорная часть кронштейна не может свободно закручиваться, как это принято в стержневой модели, ввиду ее одностороннего стеснения за счет контакта со стеновым ограждением нами рассмотрены приближенные расчетные схемы соответствующие экспериментально наблюдаемым картина деформирования.

Прогиб кронштейна формируется:

$$y = \sum y_i, \quad (5)$$

где  $y_i$  - прогиб кронштейна за этап испытаний.

При увеличении нагрузки зона контакта опорной части кронштейна меняется. Для уточнения алгоритма решения данной задачи проведены численные исследования МКЭ по континуальным схемам модели кронштейна системы типа «Краспан» с односторонними связями.

По результатам проведенных исследований получены следующие результаты:

- до  $P=10$ кг – расчетная схема – жесткое защемление;
- при  $P=10-20$ кг – контакт нарушается только в угловых точках опорной части;
- при  $P=20-30$ кг – нарушение контакта между стеновым ограждением и опорной частью кронштейна в крайних точках верхней зоны в области сгиба кронштейна;
- при  $P=35$ кг и выше – контакты постепенно нарушаются от зоны сгиба опорной части к зоне болтового соединения.

Таким образом, поиск расчетной схемы можно организовать в автоматическом режиме (задача с односторонними связями).

Учесть влияние паронитовой прокладки, как при аналитической, так и численной методиках представляется затруднительным в виду того, что данная задача является конструктивно нелинейной: обжатие прокладки; отгиб опорной части кронштейна, что приводит к нарушению контакта опорной части и стены.

Анализ экспериментальных данных подтверждает наличие конструктивной нелинейности при кручении и отгибе опорной части - зона контакта переменна и зависит от свойств паронитовой прокладки. Относительные деформации кронштейнов по численным решениям меньше, чем экспериментальные данные.

В данной главе выполнены также исследования НДС несущих конструкций фасадной системы как рамной системы в два этапа: на силовую нагрузку и на температурные воздействия. Рассматривались четыре варианта расчетных схем (рис. 16).

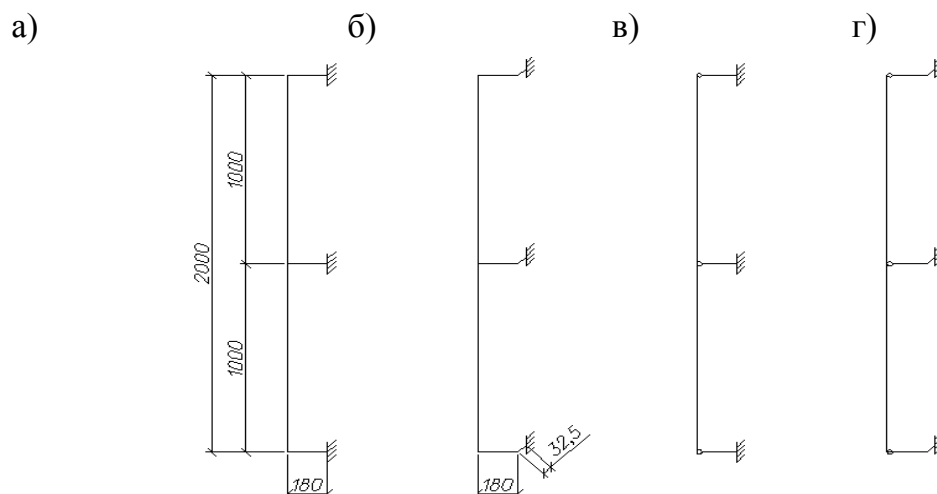


Рис. 16. Расчетные схемы рамной конструкции:

- а, б – жесткое крепление вертикального профиля к кронштейнам:  
жесткое защемление кронштейна на сгибе – схема 1 (а);  
жесткое защемление кронштейна в центре опорной части – схема 2 (б);
- в, г – шарнирное крепление вертикального профиля к кронштейнам  
жесткое защемление кронштейна на сгибе – схема 3 (в);  
жесткое защемление кронштейна в центре опорной части – схема 4 (г)

В рассматриваемых системах кронштейн в отличие от самостоятельного элемента работает на растяжение с изгибом. Максимальная перерезывающая сила в кронштейне проявляется при жестком защемлении (схема 1). Вертикальный профиль работает на растяжение с изгибом в большей степени при жестком защемлении, а на срез в горизонтальной плоскости - при шарнирном креплении к кронштейнам.

При учете температурных воздействий: наибольшая выдергивающая сила возникает в схеме 1 (жесткое крепление вертикального профиля к кронштейнам, которые защемлены на сгибе), а при защемлении кронштейнов на сгибе (схемы 1, 3) пе-

ремещения в несущих элементах относительно оси  $u$  отсутствуют. Наибольшие перемещения возникают относительно оси  $z$  в пространственных рамных системах.

Учет температурных воздействий в рамных системах приводит к повышению прогибов кронштейнов, например при  $t = +40^{\circ}\text{C}$ , превышение прогиба достигает от 20 до 90% в зависимости от расчетных схем.

Разработан алгоритм выбора расчетной схемы фасадной системы типа «Краспан». Для фасадных систем с регулярным шагом вертикальных профилей без большой потери точности в оценке НДС пространственную континуально-стержневую систему можно представить как совокупность плоских однопролетных многоэтажных рам, а при учете конструктивных особенностей вертикальных профилей (разрезанных на отпавочные элементы и соединенных гибкими связями) – однопролетных двухэтажных рам.

Однако, нам представляется, что оценка предельных состояний для названных элементов и узлов при единой расчетной схеме с фиксированными характеристиками узловых сопряжений (например, жесткое сопряжение кронштейна с вертикальным профилем, которое в исходном (начальном) состоянии возможно конструктивно и достижимо, но в последующем в процессе эксплуатации будет нарушено) может приводить к ошибочным результатам.

В практике в месте сопряжения кронштейна с вертикальным профилем жесткое сопряжение не может быть реализовано (деградация в процессе эксплуатации).

При подборе сечений всех элементов, в том числе и узлов, мы рекомендуем исходить из наиболее невыгодных результатов на всех стадиях, поэтому предлагаем следующие расчетные схемы (рис. 17).

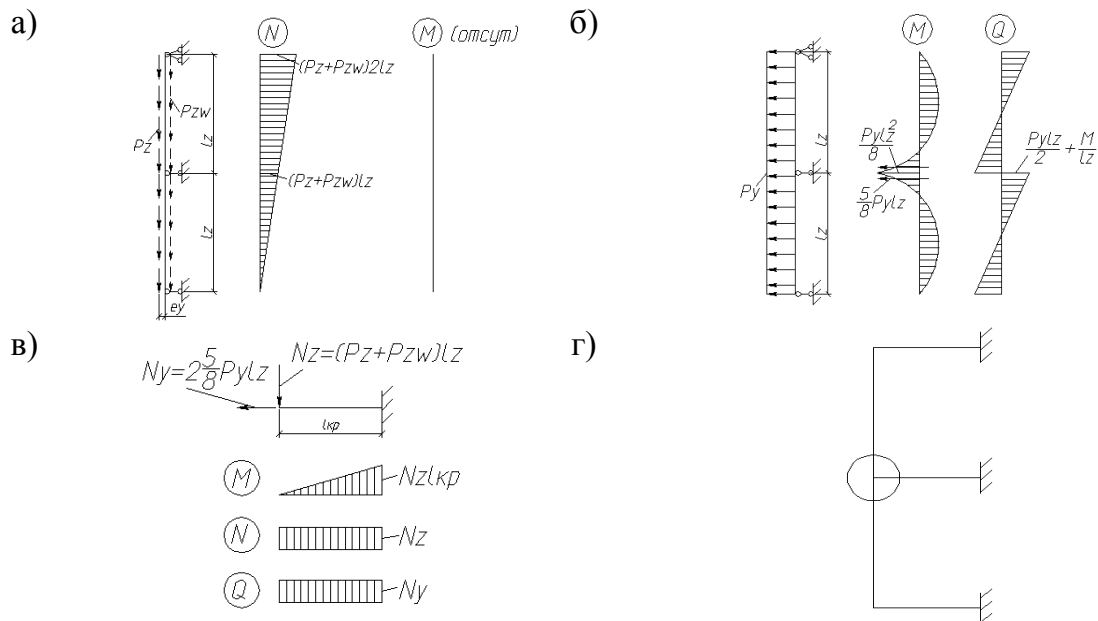


Рис. 17. Расчетные схемы: а – б - для расчета вертикального профиля: на вертикальную нагрузку (а); на горизонтальную нагрузку (б); в - для расчета кронштейна; г - для расчета узла крепления кронштейна к вертикальному профилю

**В четвертой главе** проведен сравнительный анализ технико-экономических показателей разработанных вариантов несущих конструкций фасадных систем и стандартного конструктивного решения (базовым вариантом).

Получено, что применение предложенных вариантов усовершенствованных кронштейнов увеличивает экономическую эффективность по стоимости каркаса по сравнению с базовым конструктивным решением в среднем 11-35тыс.руб. на 100м<sup>2</sup> в ценах 2007г.

### **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

В работе на основе авторских экспериментально-теоретических исследований деформирования фасадной системы с вентилируемым воздушным зазором и ее отдельных элементов:

- доказано, что используемые расчетные модели, в частности по определению перемещений, не совершенны и экспериментальными исследованиями не подтверждаются;
- фасадная система с воздушным зазором должна рассматриваться как континуальная или плоская рамная система с возможным варьированием расчетными схемами, соответствующими различным стадиям функционирования системы;
- для инженерных расчетов допустимо рассматривать каждый элемент в отдельности с использованием нескольких расчетных схем, с выбором приводящих экстремальных;
- выбор расчетной схемы кронштейна как самостоятельного элемента играет существенную роль в формировании и оценке его НДС. В простейших вариантах можно использовать стержневую модель с учетом сдвига, в более сложных вариантах – континуальную пластинчатую модель с ориентацией ее реализации на ЭВМ;
- на основе физического и численного моделирования нескольких типов несущих кронштейнов выявлены специфические особенности их деформирования, в том числе и те, которые приводят к наступлению второго предельного состояния (фактически прогиб превышает предельно допустимый) раньше первого. Данное обстоятельство в каждом конкретном случае обуславливает необходимость выполнения проверок несущих элементов фасадной системы, как по первой, так и по второй группе предельных состояний;
- для уменьшения деформативности несущего элемента предложены новые конструктивные решения кронштейнов - коробчатой формы поперечного сечения и Т-образные;
- предложены новые варианты крепления кронштейна к стеновому ограждению – перенос анкерного крепителя вверх относительно продольной оси крон-

штейна, и к вертикальному профилю – уширение подвижной части несущего элемента;

- экспериментально выявлено, что паронитовая прокладка в системе также как и при испытании отдельного кронштейна существенно увеличивает деформативность за счет собственной упругой податливости;
- предложен итерационный алгоритм расчета системы и несущего кронштейна на основе изменяющейся расчетной схемы по данным исследований;
- учет температурного воздействия приводит к повышению перемещений, поэтому необходимо учитывать данный вид воздействия в расчетах по II группе предельных состояний;
- по результатам экспериментальных и численных исследований и натурного освидетельствования фасадных систем на зданиях г.Красноярска разработаны рекомендации по применению фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором при реконструкции и новом строительстве;
- на основе технико-экономического анализа доказана эффективность разработанных вариантов усовершенствованных кронштейнов в сравнении со стандартными конструктивными решениями.

#### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Пат. на полезную модель 61750 Российская Федерация, МПК E04F 13/00. Комплект крепления фасадной подвески/Енджиевский Л.В., Щербаков Л.В., Терешкова А.В., Клименков А.И.; заявитель и патентообладатель Красноярская арх.-стр. акад. - №2006137584/22; заявл. 24.10.06;опубл. 10.03.07, Бюл. №7.-1 с.: ил.
2. Пат. на полезную модель 61754 Российская Федерация, МПК E04F 13/08. Кронштейн для крепления навесной панели облицовки здания/Енджиевский Л.В., Щербаков Л.В., Терешкова А.В.; заявитель и патентообладатель Красноярская арх.-стр. акад. - №2006142291/22; заявл. 29.11.06;опубл. 10.03.07, Бюл. №7.-2 с.: ил.
3. Пат. на полезную модель 60573 Российская Федерация, МПК E04F 13/00. Комплект крепления фасадной подвески/Енджиевский Л.В., Щербаков Л.В., Терешкова А.В., Клименков А.И., Недодел П.В.; заявитель и патентообладатель Красноярская арх.-стр. акад. - №2006137585/22; заявл. 24.10.06;опубл. 27.10.07, Бюл. №3.-2 с.: ил.
4. Пат. на полезную модель 54383 Российская Федерация, МПК E04F 13/00. Комплект крепления фасадной подвески (варианты)/Енджиевский Л.В., Игошин В.Л., Терешкова А.В., Клименков А.И.; заявитель и патентообладатель Красноярская арх.-стр. акад. - №2005134758/22; заявл. 09.11.05;опубл. 27.06.06, Бюл. №18.-2 с.: ил.
5. Терешкова, А.В. Экспериментально-теоретический анализ деформирования несущих кронштейнов в фасадной системе с вентилируемым воздушным зазором/А.В. Терешкова, Л.В. Енджиевский. – Томск. – 2007

6. Терешкова, А.В. Анализ деформирования несущего элемента подсистемы фасадной системы с вентилируемым воздушным зазором/А.В. Терешкова, Л.В. Енджиевский, П.В. Недодел, Л.В.Щербаков// Проблемы архитектуры и строительства: сб. матер. XXIV регион. науч.-техн. конф. – Красноярск. – 2006. С37-39
7. Терешкова, А.В. Фасадные системы с вентилируемым воздушным зазором в условиях сурового климата Сибири/А.В. Терешкова, П.В. Недодел// Проблемы архитектуры и строительства: сб. матер. XXIV регион. науч.-техн. конф. – Красноярск. – 2006. С39-40
8. Терешкова, А.В. Анализ деформирования несущего элемента подсистемы навесного вентилируемого фасада типа КРАСПАН/А.В. Терешкова, Л.В. Енджиевский//Межд. академ. чтения «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения». – Курск. – 2006. С51-54
9. Терешкова, А.В. Анализ работы основного несущего элемента фасадной системы с воздушным зазором типа «Волна»/А.В. Терешкова, Л.В. Енджиевский, Л.В.Щербаков. – Пенза. – 2006
10. Терешкова, А.В. Экспериментальные исследования несущих элементов фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором/А.В. Терешкова, Л.В.Енджиевский, Л.В.Щербаков, Д.Г.Нагнебедов// Проблемы архитектуры и строительства: сб. матер. XXIV регион. науч.-техн. конф. – Красноярск. – 2007.
11. Терешкова, А.В. Экспериментальные исследования фрагментов фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором типа «Краспан»/А.В. Терешкова, Л.В.Енджиевский, Л.В.Щербаков, Ю.Н.Фадеев, А.Д.Телиориди// Проблемы архитектуры и строительства: сб. матер. XXIV регион. науч.-техн. конф. – Красноярск. – 2007.



Институт архитектуры и строительства Сибирского федерального университета  
660041, г.Красноярск, пр.Свободный,82. Отпечатано \_\_\_\_  
Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_