

УТВЕРЖДАЮ:



Проректор ЛПТУ по НР

И.М. Володин

2010 г.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

СОГЛАСОВАНО:



Президент ЗАО «Эксергия»

Бойко О.И.

2010 г.

СОГЛАСОВАНО:



Директор

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко

ОАО «НИИ «Строительство»

И.И. Ведяков

2010 г.

**ОТЧЕТ**

**о научно-исследовательской работе**

**«Исследование напряженно-деформированного состояния объемно-формованных тонколистовых конструкций бескаркасного здания типа «Эксергия»**

Руководитель работы,  
докт. техн. наук, профессор

В.В. Зверев

Отв. исполнитель

К.Е. Жидков

Отв. исполнитель

А.Ю. Салдаев

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Сведения о «Заказчике» и «Исполнителе».....	4
1.1 Основание для проведения испытаний.....	4
1.2 Сведения о заказчиках.....	4
1.3 Сведения об исполнителях.....	4
2 Экспериментальное исследование фрагмента здания бескаркасного типа пролетом 36м.....	5
2.1 Фрагмент для испытаний.....	5
2.1.1 Стеновое ограждение.....	6
2.1.2 Элементы покрытия.....	11
2.2 Методика проведения испытаний.....	14
2.2.1 Основные цели и задачи испытаний.....	15
2.2.2 Оборудование, приборы и приспособления.....	15
2.2.2.1 Приложение нагрузки.....	15
2.2.2.1 Измерение напряжений и перемещений.....	20
2.2.3 Геодезическая съемка положения конструкций.....	28
2.3. Математическое моделирование.....	30
2.3.1 Схемы загрузки покрытия.....	30
2.3.2 Расчетные схемы здания.....	32
2.4 Проведение испытаний.....	34
2.4.1 Первый этап - испытание на действие комбинированной нагрузки (ветер+снег).....	34
2.4.2 Второй этап - испытание стеновой конструкции с оконным проемом вертикальной нагрузкой.....	35
2.4.3 Третий этап - испытание покрытия вертикальной нагрузкой, приложенной на половине пролета.....	35
2.4.4 Четвертый этап - испытание на действие равномерно распределенной вертикальной нагрузки.....	36
2.4.5 Пятый этап - испытание стеновых панелей и элементов покрытия на влияние начального эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки, вызванного горизонтальной нагрузкой.....	36
2.4.6 Шестой этап - испытание стеновой конструкции с оконным проемом горизонтальной нагрузкой.....	37
2.5 Результаты испытаний.....	39
3. Выводы.....	39
Заключение.....	40
Список литературы.....	41
Приложение А. Механические испытания образцов стали.....	42
Приложение Б. Схемы раскладки грузов.....	44
Приложение В. Схемы расположения тензодатчиков.....	49
Приложение Г. Схемы расстановки прогибомеров.....	67
Приложение Д. Схемы размещения марок.....	69
Приложение Е. Характерные графики распределения напряжений в сечениях элементов (выборочно).....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений современного строительства в России являются быстровозводимые здания из легких металлических конструкций (ЛМК). Данное направление - достаточно перспективное на современном рынке, востребованность зданий из ЛМК и популярность их постоянно растет.

Здания из ЛМК отличаются чрезвычайной многофункциональностью. Их широко используют как склады, производственные помещения, выставочные комплексы, спортивные сооружения (крытый теннисный корт, бассейн, спортивный комплекс), крытые торговые ряды, крытые автостоянки и автосалоны, для сезонного хранения частных самолетов и яхт, коттеджи, офисы, магазины, мастерские, цехи, склада, ангары.

Большая популярность зданий из легких металлических конструкций определяется следующими факторами:

### 1. Уменьшение финансовых затрат

Здания из легких металлических конструкций в 2-3 раза дешевле зданий, при аналогичных потребительских качествах и назначении каркаса из железобетона.

### 2. Экономия времени

Сроки реализации проектов значительно сокращаются за счет использования быстровозводимых металлических конструкций.

### 3. Простота изготовления

Производство легких металлических конструкций практически полностью автоматизировано.

### 4. Легкость монтажа и демонтажа

Все быстровозводимые металлические конструкции легко монтируются с помощью современных технологий. Демонтаж конструкций так же легок. При необходимости здание, возможно, перенести на другое место, достроить или перестроить.

### 5. Простота перевозки

Быстровозводимые металлические конструкции компактны: их легко доставить до стройплощадки, что существенно сокращает расходы на транспортировку.

### 6. Надежность в эксплуатации

Срок службы зданий из металлоконструкций составляет 25 лет и выше, в зависимости от условий эксплуатации и назначения сооружений. Что же касается отдельных элементов здания они являются долговечными при правильном соблюдении условий их использования.

В нашей стране фирмой ЗАО «Эксергия» успешно освоено производство зданий бескаркасного типа из легких металлических конструкций. Отличительной особенностью таких зданий является возможность перекрытия больших пролетов (до 75 метров и более), причем в качестве несущих элементов выступает само стеновое ограждение, выполненное из волнистых профилированных листов двойного гофрирования. Это позволяет достичь существенной экономии металла. Еще одной особенностью таких зданий является то, что они собираются полностью на болтах, что существенно сокращает время и расходы на стадии монтажа.

Здания бескаркасного типа имеют принципиально новую конструкцию и существующие методики расчета не могут в полной мере описать работу таких конструкций. В связи с этим для уточнения схемы работы элементов и узлов конструкции, а также для оценки корректности методики расчета, приведенной в СТО «Здания бескаркасного типа» (в дальнейшем СТО) потребовалось проведение натурных испытаний.

# 1 Сведения о «Заказчике» и «Исполнителе»

## 1.1 Основание для проведения испытаний

- необходимость экспериментальной проверки теоретических предпосылок расчета.
- договор № 78/С-2009, заключенный между ЗАО «Эксергия» и ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

## 1.2 Сведения о заказчиках

ЗАО «Эксергия», 398020, Россия, г. Липецк, ул. Клары Цеткин, д.1.

Работа проводится совместно с ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко филиала ФГУП «НИЦ «Строительство»

## 1.3 Сведения об исполнителях

Должность	Фамилия, имя, Отчество,	Образование	Подпись
Руководитель	ЗВЕРЕВ Виталий Валентинович	Высшее, инженер-строитель. Диплом доктора наук ДК №008422, г.Москва. Высшая аттестационная комиссия.	
Ответственный исполнитель	ЖИДКОВ Константин Евгеньевич	Высшее, инженер-строитель. Диплом кандидата наук КТ №010671, г.Москва. Высшая аттестационная комиссия.	
Исполнители	БАБКИН Владимир Ильич	Высшее, инженер-строитель. Диплом кандидата наук ТН №096134, г.Москва. Высшая аттестационная комиссия.	
	КАПЫРИН Николай Викторович	Высшее, инженер-строитель. Диплом кандидата наук КТ №044786, г.Москва. Высшая аттестационная комиссия.	
	КАЦЕФ Эдита Борисовна	Высшее, инженер-строитель. Диплом кандидата наук КТ №024457, г.Москва. Высшая аттестационная комиссия.	
	КОЗОМАЗОВ Дмитрий Владимирович	Высшее, инженер-строитель. Диплом кандидата наук ДКН №058386, г.Москва. Высшая аттестационная комиссия.	
	САЛДАЕВ Андрей Юрьевич	Высшее, инженер-строитель. Диплом инженера ВСГ 0680209, г. Липецк. ЛГТУ.	
	СЕМЕНОВ Александр Сергеевич	Высшее, инженер-строитель. Диплом инженера ВСА 0218693, г. Липецк. ЛГТУ.	
	ТЕЗИКОВ Николай Юрьевич	Высшее, инженер-строитель. Диплом кандидата наук КТ №008455, г.Москва. Высшая аттестационная комиссия.	

## 2.5 Результаты испытаний

Результаты натурных испытаний приведены в [4]. Характерные графики распределения напряжений в сечениях элементов приведены в приложении Е.

## 3. Выводы

Основываясь на результатах проведенных испытаний натурального фрагмента бескаркасного здания типа «Эксергия», численного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций, руководствуясь требованиями и рекомендациями СТО «Здания бескаркасного типа. Проектирование, изготовление (2-я редакция)», а также действующих нормативно-технических документов, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментальные исследования проведены в полном объеме в соответствии с «Методикой проведения натурных испытаний здания бескаркасного типа ЗАО «Эксергия» пролетом 36 м».
2. В результате исследования напряженно-деформированного состояния конструкции в зоне опорного узла покрытия установлено, что в узле возникает изгибающий момент, который необходимо учитывать при расчете.
3. В результате исследования напряженного состояния раскосной решетки установлено, что несимметричное приложение вертикальной нагрузки приводит к увеличению напряжений в средних раскосах. При определенных схемах и комбинациях загружений усилия в раскосах приопорной зоны и средней части покрытия могут иметь близкие значения. В связи с этим при расчете покрытий «Эксергия» необходимо в обязательном порядке учитывать комбинации загружений в соответствии со схемами 1 (вар. 1, 2) и 2 (вар. 1, 2) по приложению 3 СНиП 2.01.07-85\*.
4. Изучено фактическое распределение напряжений в потолочных и кровельных панелях, в том числе в зоне примыкания раскосов. Установлено, что местное напряжение в гофре потолочной секции в зоне примыкания фасонки раскосной решетки выше, чем в соседних гофрах. При этом по центру узла это превышение составляет 2,6 раза, с удалением от узла неравномерность падает и на краю фасонки превышение составляет 1,4.
5. Проведены исследования напряженного состояния стеновых панелей в зоне проема, в том числе от сдвиговой (горизонтальной) нагрузки. Установлено, что в стеновых секциях, примыкающих к проему, напряжения ~ в 1,5 раза выше, чем в рядовых секциях. Таким образом, установлено, что нагрузка от покрытия над проемом перераспределяется на соседние с проемом стеновые секции. Стойки обрамления обеспечивают устойчивость краев стеновых секций и включаются в работу на сдвиговую нагрузку. Теоретические исследования показывают, что стойки в закритической стадии работы сечения секции воспринимают часть вертикальной нагрузки. Однако при проведении эксперимента уровень напряжений в стене был недостаточен для включения в работу стоек обрамления. Этот вопрос требует дополнительных экспериментальных исследований.
6. Установлено, что усилия от покрытия равномерно распределяются по гофрам несущих продольных стен.
7. Предельных состояний в конструкции ни на одном этапе испытаний не наблюдалось. Деформации покрытия не превышали, установленных СНиП 2.01.07-85\*.
8. Фактические напряжения в конструкции были ниже теоретических, определенных по Стандарту организации с учетом СНиП II-23-81\*.  
При нагружении конструкции в соответствии со схемой 4 этапа испытаний (49% от теоретической несущей способности) фактические напряжения в потолочных и кровельных

панелях в середине пролета и вблизи узла сопряжения кровли со стеновым ограждением имели значения не более 70% от теоретических значений.

В продольной стене без оконного проема напряжения не превышали 40% от теоретических значений.

При загрузке конструкции в соответствие со схемой 2 этапа испытаний (29% от теоретической несущей способности) в продольной стене с оконным проемом напряжения не превышали 40% от теоретических значений.

9. Установлено, что расчетная методика, с учетом корректировки по п.2 настоящих выводов, с достаточной степенью надежности позволяет рассчитывать бескаркасные здания типа «Эксергия».

### **Заключение**

Результаты проведенных испытаний необходимо отразить в следующей редакции стандарта организации «Здания бескаркасного типа. Проектирование, изготовление». До выпуска следующей редакции оговоренного стандарта проектирование конструкций необходимо вести с учетом выводов к настоящей работе. При проектировании большепролетных зданий особое внимание следует обратить на результаты испытаний узлов примыкания раскосов к потолочным секциям.