

На правах рукописи



Эззи Хишам

**СОВМЕСТНАЯ РАБОТА СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ СТРОПИЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ С ПЛИТАМИ ПОКРЫТИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Специальность

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Владимир 2016

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Научный руководитель:

Рощина Светлана Ивановна
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Морозов Валерий Иванович
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой строительных
конструкций ФГБОУ ВПО «Санкт-
Петербургский государственный
архитектурно-строительный
университет»

Берлинов Михаил Васильевич
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры жилищно-
коммунального комплекса ФГБОУ
ВО «Национальный
исследовательский Московский
государственный строительный
университет»

Ведущая организация:

**Акционерное общество
"Центральный научно-
исследовательский и проектно-
экспериментальный институт
промышленных зданий и
сооружений — ЦНИИПромзданий"**

Защита диссертации состоится «28» сентября 2016 года в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 007.001.01 (НИИСФ РААСН) по адресу: 127238, Россия, Москва, Локомотивный проезд, 21, светотехнический корпус, каб. 205.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-методическом фонде НИИСФ РААСН и на сайте www.niisf.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2016 года

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук



Умнякова Нина Павловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

В одноэтажных производственных зданиях стоимость покрытия составляет 40-55% от общей стоимости зданий. Поэтому исследование, разработка и применение новых конструктивных форм железобетонных стропильных конструкций, позволяющих снизить материалоемкость и уменьшить монтажный вес конструкций, являются главными задачами в области совершенствования существующих типовых решений.

Одноэтажные производственные здания каркасного типа возводятся для многих отраслей промышленности (металлургической, машиностроительной, легкой и других). Часто они оборудуются мостовыми или подвесными кранами, имеют большую длину и могут быть однопролетными или многопролетными. Типовые пролеты для железобетонных зданий 12, 18, 24, 30м; шаг колонны в продольном направлении 6 или 12, в некоторых случаях 18м. Объемно-планировочное решение таких зданий должно обеспечивать свободную расстановку технологического оборудования, свободу передвижения и работу мостовых кранов, возможность модернизации производства или технического перевооружения. При этом важно, чтобы конструктивные решения таких зданий были оптимальными и обеспечивали прочность, жесткость и устойчивость их при всех нагрузках и воздействиях, не допуская излишних затрат.

Существующие конструкции имеют определенные недостатки. В частности, фермы имеют большую высоту; при пролетах 24м высота покрытия в середине составляет 3.75м. Плиты соединяются с ригелем шарнирно. Такое соединение не обеспечивает совместности работы этих конструкций: плиты не вовлекаются в работу ригеля, а служат только нагрузкой. Работают плиты по балочной схеме – как однопролетные балки с шарнирными опорами по концам. В середине пролета в них возникает большой изгибающий момент. По нему подбирается продольная рабочая арматура плиты и, поскольку эта арматура предварительно напряженная, ее сечение по длине не меняется. Получается, что

арматура используется полностью только в средней части пролета – в зоне наибольших моментов, а за пределами этой зоны плита оказывается переармированной.

Кроме того, недостаточное внимание к настоящему моменту, было уделено изучению влияния формы стропильной конструкции и положения плит в составе диска покрытия на напряжённно-деформированное состояние стропильной конструкции, совместную работу с плитами покрытия и на общую полезную высоту производственного здания.

В соответствии с этим представляется актуальной следующая задача – проведение экспериментально-теоретических исследований для внедрения в практику строительства высокоэффективной стропильной конструкции, позволяющей с помощью монолитного бетона включить в работу верхнего пояса торцевые ребра и часть полки плит покрытия.

Степень разработанности темы диссертации

Исследования совместной работы стропильных конструкций с плитами покрытия выполнили: В.Н. Байков, Б.Н. Баканов, А.И. Бедов, В.С. Бартенев, В.А. Клевцов, А.К. Фролов, С.В. Горбатов, В.А. Чистяков, В.Н. Берёзов, А.В. Сильверстов, В.М. Бондаренко, А.Я. Глушанков, А.Г. Тамразян, Н.В. Ключева, В.И. Колчунов, Е.В. Осовских, В.С. Федоров, Л.Р. Маилян, Dilger W.H., Kumar Sh., Liu Y., Neville A.M., Obla K.H., Torrenti J.-M. и другие. В настоящее время степень разработанности проблемы, изложенной в диссертации, оказалась недостаточной в связи с необходимостью внедрения в практику строительства новых более эффективных форм и конструктивных решений стропильных конструкций по сравнению с типовыми решениями. Разработка и внедрение новых форм стропильных конструкций требует обеспечение методами научного исследования.

Цель и задачи

Цель диссертационной работы – исследование совместной работы сборно-монолитной стропильной конструкции новой формы со сборными ребристыми плитами покрытия, с учетом их работы по неразрезной схеме.

Задачи диссертационной работы:

1. Разработка расчетной модели деформативности новой формы сборно-монолитной стропильной конструкции с учетом взаимодействия с ребристыми плитами покрытия;
2. Получение экспериментальных данных о характере деформирования и разрушения модели диска покрытия в результате совместной работы его элементов;
3. Разработка расчетной методики для определения деформативности сборно-монолитной стропильной конструкции новой формы с использованием плоских деформационных континуально стержневых моделей составной балки;
4. Разработка расчетной модели сопротивления зоны контакта монолитного бетона стропильной конструкции с плитами покрытия при их совместном деформировании;
5. Числительное исследование совместности деформирования стропильной конструкции с плитами покрытия в сравнении с данными эксперимента;
6. Разработка рекомендаций по проектированию сборно-монолитных стропильных конструкций с учетом их взаимодействия с плитами покрытия.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана расчетная модель деформативности новой формы сборно-монолитной стропильной конструкции для обеспечения более эффективной совместной работы с плитами покрытия по сравнению с типовыми и существующими решениями;
2. Получены экспериментальные данные о характере деформирования и разрушения модели диска покрытия в результате вовлечения торцевых ребер и полки плит в работу сборно-монолитной стропильной конструкции;
3. Разработана расчетная методика для определения деформативности сборно-монолитной стропильной конструкции новой формы с использованием плоских деформационных континуально стержневых моделей составной балки;

4. Разработана расчетная модель сопротивления зоны контакта монолитного бетона стропильной конструкции с плитами покрытия при их совместном деформировании с использованием теории составных стержней;

5. Получены результаты численных исследований совместности деформирования стропильной конструкции с учетом их взаимодействия с плитами покрытия.

Теоретическая и практическая значимость работы следующая:

1. На основе теоретических и численных исследований систематизированы данные о внедрении высокоэффективной сборно-монолитной стропильной конструкции, что может быть использовано в нормативных документах.

2. На основе проведенных экспериментальных исследований определена методика оценки разгружающего эффекта в стропильной конструкции в результате совместного деформирования с плитами покрытия.

3. Разработаны рекомендации по проектированию сборно-монолитных стропильных конструкций с жестким соединением с плитами покрытия.

Методология и методы диссертационного исследования

В диссертационной работе все экспериментальные исследования выполнены в лаборатории кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» ВлГУ.

Относительные деформации определены тензометрическим методом с использованием «многоканального измерительного комплекса TDS530». Измерение углов поворота, горизонтальных и вертикальных перемещений выполнено с использованием «прогибомера 6-ПАО». Автоматизированная обработка полученных результатов была осуществлена с применением программного пакета «Microsoft office Excel». Теоретические Расчеты элементов стропильной конструкции и плиты покрытия проводились в соответствии с СП 63.13330.2012 и СП 20.13330.2011. Численные расчеты выполнены с помощью лицензированного программного комплекса «SCAD Office 11.5».

Положения, выносимые на защиту, следующие:

1. Методика испытаний и новые экспериментальные данные о деформировании и разрушении модели диска покрытия в результате вовлечения торцевых ребер и полки плит в работу сборно-монолитной стропильной конструкции;
2. Расчетная методика для определения деформативности сборно-монолитной стропильной конструкции новой формы с использованием плоских деформационных континуально стержневых моделей составной балки;
3. Результаты численных исследований совместного деформирования стропильной конструкции с учетом взаимодействия с плитами покрытия.

Степень достоверности результатов оценена с помощью современных математических методов обработки экспериментов и обуславливается удовлетворительной сходимостью результатов расчетов и экспериментальных измерений. Для выполнения экспериментов были использованы общепринятые методики, сертифицированное оборудование и приборы. Результаты исследования воспроизводимы при многократных измерениях. Расчетные данные основываются и не противоречат базовым теориям железобетона. Кроме того результаты проверялись путем сравнения с решениями аналогичных задач, опубликованных в российских и зарубежных источниках.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались на международных и российских научно-технических конференциях:

- «Строительная наука-2013», Международная конференция, Владимир, ВлГУ, 2013 г.
- «Бетон и железобетон-взгляд в будущее», III Всероссийская (II международная) конференция, Москва, РАН, МГСУ, 2014 г.
- «Строительство-2014» Современные проблемы промышленного и гражданского строительства», Международная конференция, Ростов-на-Дону, РГСУ, 2014г.

- «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкций», Всероссийская конференция, Чебоксары, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2014г.

- «Новые химические технологии, защитные и специальные покрытия: производство и применение», Всероссийская научно-техническая конференция, Пенза, ПГУ, 2015 г.

- «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения», Международные академические чтения, Курск, КГУ, РААСН, 2015 г.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения, а именно:

п.1 «Обоснование, исследование и разработка новых типов несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений»;

п.2 «Обоснование, разработка и оптимизация объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений с учетом протекающих в них процессов, природно-климатических условий, экономической и конструкционной безопасности на основе математического моделирования с использованием автоматизированных средств исследований и проектирования»;

п.3 «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».

Реализация результатов работы

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы использованы при проектировании и расчете новых форм сборно-монолитных покрытий, при разработке проектов и усиления железобетонных стропильных конструкций, разрабатываемых

ООО «ТЭЗиСПроект» (г. Владимир), а также в учебном процессе Владимирского государственного университета.

Публикации

По результатам исследований опубликовано 13 работ, в том числе 5 в изданиях по перечню ВАК, получен патент на полезную модель № 147222.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа включает в себя: введение, 4 главы, заключение, список литературы (153 наименований, в том числе 6 на иностранных языках), 74 рисунка, 11 таблиц, 76 формул. Основной текст изложен на 124 страницах. Количество приложений – 3 на 13 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности работы, определены цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

Первая глава содержит обзор конструктивных решений несущих и ограждающих конструкций покрытий промышленных зданий, обзор методов расчета стропильных конструкций с учетом совместной работой с плитами покрытия.

Основоположниками изучения совместной работы стропильных конструкций с плитами покрытия в России и за рубежом были В.Н. Байков, Б.Н. Баканов, А.И. Бедов, В.С. Бартенев, В.А. Клевцов, А.К. Фролов, С.В. Горбатов, В.А. Чистяков, В.Н. Берёзов, А.В. Сильверстов, В.М. Бондаренко, А.Я. Глушанков, А.Г. Тамразян, Н.В. Ключева, В.И. Колчунов, Е.В. Осовских, В.С. Федоров, Л.Р. Маилян, Dilger W.H., Kumar Sh., Liu Y., Neville A.M., Obla K.H., Torrenti J.-M. и другие. Их трудами созданы методы расчета элементов покрытия одноэтажных производственных зданий, заложены фундаментальные теоретические основы и оптимизированы экспериментальные данные для расчетов.

Одними из первых, кто провели исследования по определению эффекта совместной работы стропильных конструкций и плит покрытия при действии вертикальной нагрузки, были В.С. Мартемьянов и В.А. Селиванов. Авторы применили модель с равномерно-распределёнными по длине балки связями и расчетную схему с учётом упруго податливых связей сдвига между плитами и балкой.

А. Р. Ржаницын охарактеризовал работу связей стыковых соединений коэффициентом жесткости, представляющим отношения усилия в связях к соответствующей ему деформации и определяемым по формуле:

$$\xi = T_c \cdot \frac{m}{\Gamma} \quad (2)$$

где T_c - сдвигающее усилие, приходящееся на одну связь; m - число связей, приходящееся на единицу длины шва; Γ - деформация взаимного сдвига смежных волокон двух соседних стержней, соединенных связями сдвига.

По результатам исследований А.Я. Глушанкова и В.А. Клевцова была предложена методика расчёта, в которой панели настила заменялись эквивалентными рамами с шириной, принимаемой из условия включения в работу торцевых рёбер панелей и примыкающих к ним участков полок. В расчётной схеме балка представлена осевой линией, имеющей жёсткие консоли в местах крепления панелей (Рисунок 1).

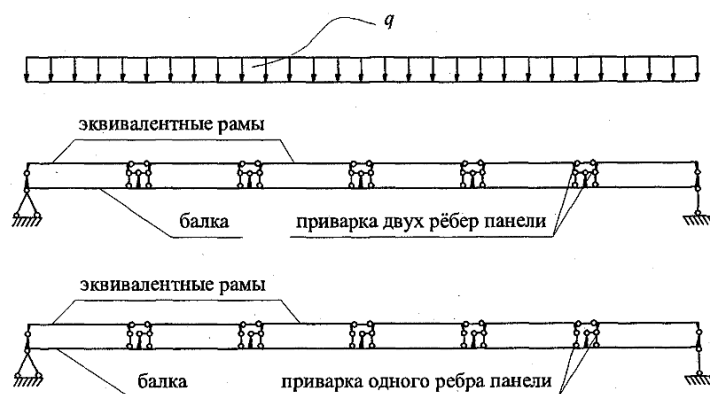


Рисунок 1 – Расчетная схема стропильной конструкции с эквивалентными рамами

Во второй главе была построена расчетная модель сборно-монолитной стропильной конструкции новой формы с использованием плоских деформационных континуально стержневых моделей составной

балки при совместном деформировании с плитами покрытия.

Расчетная модель пространственной конструкции принята в виде континуальной двухпоясной составной балки, у которой нижним поясом служит стропильная конструкция, а верхним - балка эквивалентная плитам (свес). Для удобства расчета ригеля с двумя свесами последние заменяются верхним поясом суммарной жесткости, а нагрузка, приходящаяся со свесов, суммируется и прикладывается к поясам вдоль оси составной балки (Рисунок 2). Внутренняя статическая неопределимость двухпоясной составной балки с континуальными связями раскрывается по методу сил, для чего ее расчленяют вдоль шва на два стержня, а в сечении прикладывают погонные вертикальные V_x и касательные t_x реакции.

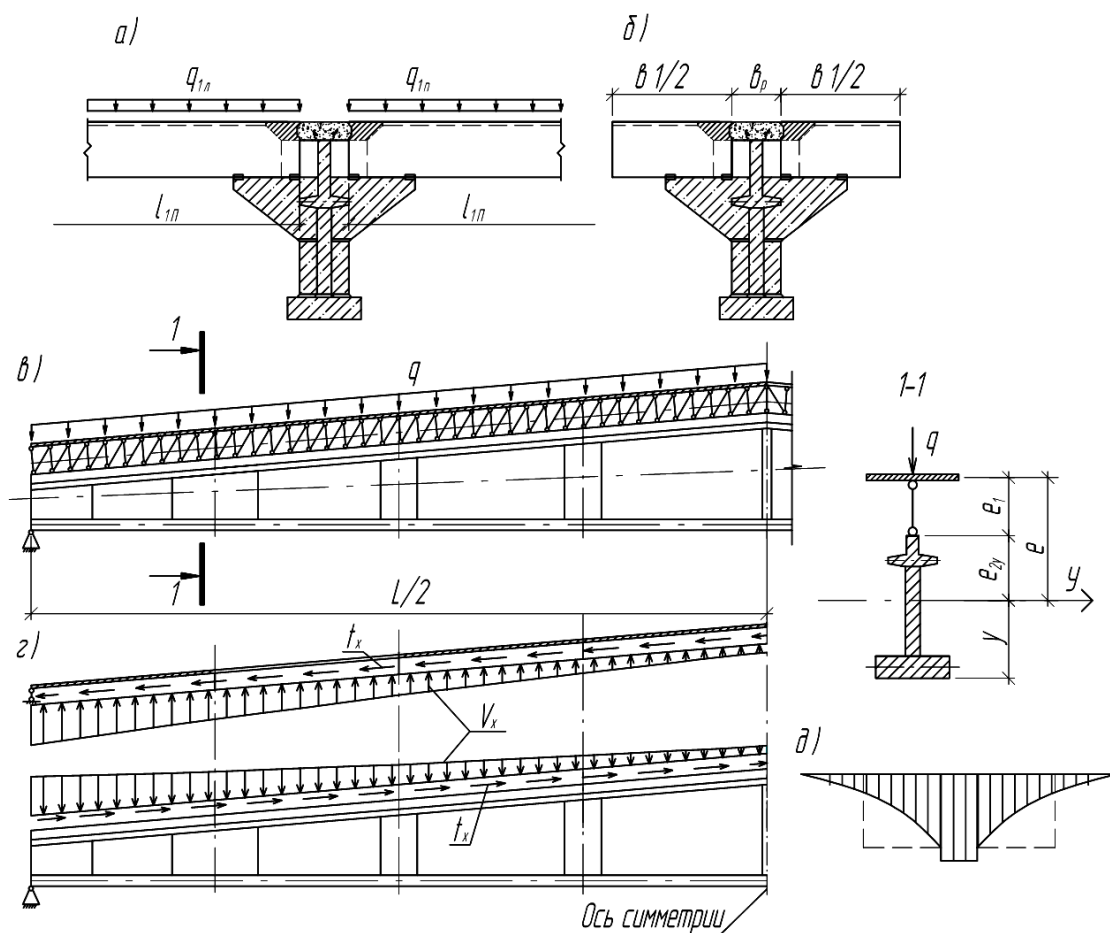


Рисунок 2 - Расчетная модель сборно-монолитной стропильной конструкции с плитами покрытия: а) пространственная составная конструкция; б) плоская составная конструкция; в) континуальная расчетная модель в виде двухпоясной составной балки с без моментным верхним поясом; г) основная система метода сил; д) эпюра нормальных напряжений в плите и ригеле

Изгибающий момент в ригеле на расстоянии «х» от опоры с учетом взаимодействия с плитами покрытия:

$$M_{2x} = M_X^P - M_X^T + M_X^N \quad (2)$$

где M_X^P - внешний изгибающий момент в свободно опертой составной балке от равномерной погонной нагрузки;

M_X^T - разгружающий изгибающий момент в составной балке, создаваемый за счет сдвигающих реакций.

$$M_X^T = T_x^m \cdot e^m + T_x^c \cdot e^c \quad (3)$$

$$T_x^m = t_0^m \cdot \frac{l}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{L} \quad (4)$$

$$T_x^c = t_0^c \cdot \frac{l}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{L} \quad (5)$$

Суммируя два уравнения, получим:

$$T_x = (T_x^m + T_x^c) = (t_0^m + t_0^c) \cdot \frac{l}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{L} = t_0 \cdot \frac{l}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{L} \quad (6)$$

где T_x - сдвигающее усилие в стыковых соединениях на расстоянии «х» от опоры;

T_x^m - сдвигающее усилие в сопряжении с монолитной частью стропильной конструкции;

T_x^c - сдвигающее усилие в сопряжении с опорными стенками стропильной конструкции;

e^m, e^c – расстояние центра тяжести сечения стропильной конструкции до точки расположения усилий соответственно T_x^m, T_x^c ;

M_X^N - внешний изгибающий момент, создаваемый продольной силой;

$t_0 = P \cdot \lambda$ – значение погонной сдвигающей реакции t_x на опорах;

λ - безразмерный коэффициент, учитывающий совместную работу стропильной конструкции с плитами покрытия, зависящий от жесткостей поясов и сопряжений составной балки, стадии работы, расстояние между центрами тяжести поясов $e_1 + e_{2y}$ и деформативность закладных деталей;

L – пролет стропильной конструкции; π - число "π".

При постоянных по длине жесткостях поясов составной балки коэффициент совместной работы определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\frac{e}{B} - \frac{e^I}{B^I} \cdot \frac{P_2}{P}}{\frac{\pi^2}{L^2 \cdot G_c} + \gamma} \quad (7)$$

где B^I , B - изгибные жесткости ригеля на 1-й и 2-й стадиях работы соответственно при кратковременном и длительном действии нагрузок;

e , e^I - расстояние между центрами тяжести поясов на участке балки;

γ - жесткостный коэффициент, зависит от осевых жесткостей;

G_c - жесткость связей сдвига, учитывающая сдвиговую жесткость шва и торцов плит.

Возникающие сдвигающие усилия в связях сдвига в зоне монолитного бетона воспринимает как бетон шва, так и выпуска арматуры продольных ребер плит, пересекающие зону контакта. На стадии работы бетона до образования трещин сдвигающие усилия в шве контакта воспринимаются как за счет сопротивления бетона контактной зоны сдвигу $Q_{b,sh}$, так и за счет работы арматурных выпусков $Q_{s,tot}$. После образования и раскрытия трещин в контактном шве, сдвигающие усилия продолжают восприниматься за счет арматурных выпусков пересекающих зону контакта, а также за счет сил зацепления $Q_{зп}$ по берегам продольной трещины.

Критерий прочности контактной зоны до образования трещин в армированном шве может быть записан в виде:

$$T_x^m \leq Q_{b,sh} + Q_{s,tot} \quad (8)$$

Критерий прочности контактной зоны после образования трещин в армированном шве может быть записан в виде:

$$T_x^m \leq Q_{зп} + Q_{s,tot} \quad (9)$$

Третья глава диссертации посвящена описанию методики и установки экспериментальных исследований поведения плит покрытия и верхнего пояса стропильной конструкций при их жестком соединении и

совместном деформировании.

Для экспериментальных исследований совместной работы плит покрытия с верхним поясом стропильной конструкции были изготовлены 2 модели, каждая из которых состоит из железобетонной балки таврового сечения в качестве ригеля, к балке жестко присоединяются опорные стенки с шагом 1500 мм и 4 плиты, которые опираются на стенки ригеля и крепятся к ним сваркой закладных металлических деталей в двух точках. Жесткое соединение плит со стенками и между собой обеспечивается силами сцепления монолитного бетона и выпусками арматуры, предусмотренными из ригеля и из ребристых плит.

Размеры модели ребристой плиты в плане 1600x1490 мм. Длина опорной части модели плиты составляет 500 мм, в пролете – 1100 мм, высота – 225 мм.

Опалубка модели плиты выполнена из фанеры марки «ОСП» толщиной 9 мм и деревянных брусков 50x50 мм.

Для экспериментальных исследований принят бетон с классом прочности В25 компании ООО «Мегалит» Владимирской области по производству товарных бетонов, арматура А400 в соответствии с ГОСТ 5781-82 и арматура класса В500 в соответствии с ГОСТ 6727-80.

Элементы модели плит и верхнего пояса ригеля разработаны отдельно. После распалубки, все отдельные элементы одной модели были собраны таким образом, чтобы образовать жесткий узел, соединяющий плиты с верхним поясом ригеля и соответствующий реальный узел опирания плит на стропильную конструкцию с масштабом 1:2 (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Модель сопряжения плит с ригелем

Для регистрации относительных деформаций монолитной части ригеля, торцевого ребра и часть полки плиты были приклеены к поверхности плит и ригеля 3 ряда тензорезисторов по 15 штук в каждом ряду (3 на ригеле и 12 на плите) (Рисунок 4).

Загружение плит с ригелем производится с помощью гидронасосной станции, передавая нагрузку от гидроцилиндра через металлическую установку на плиты.

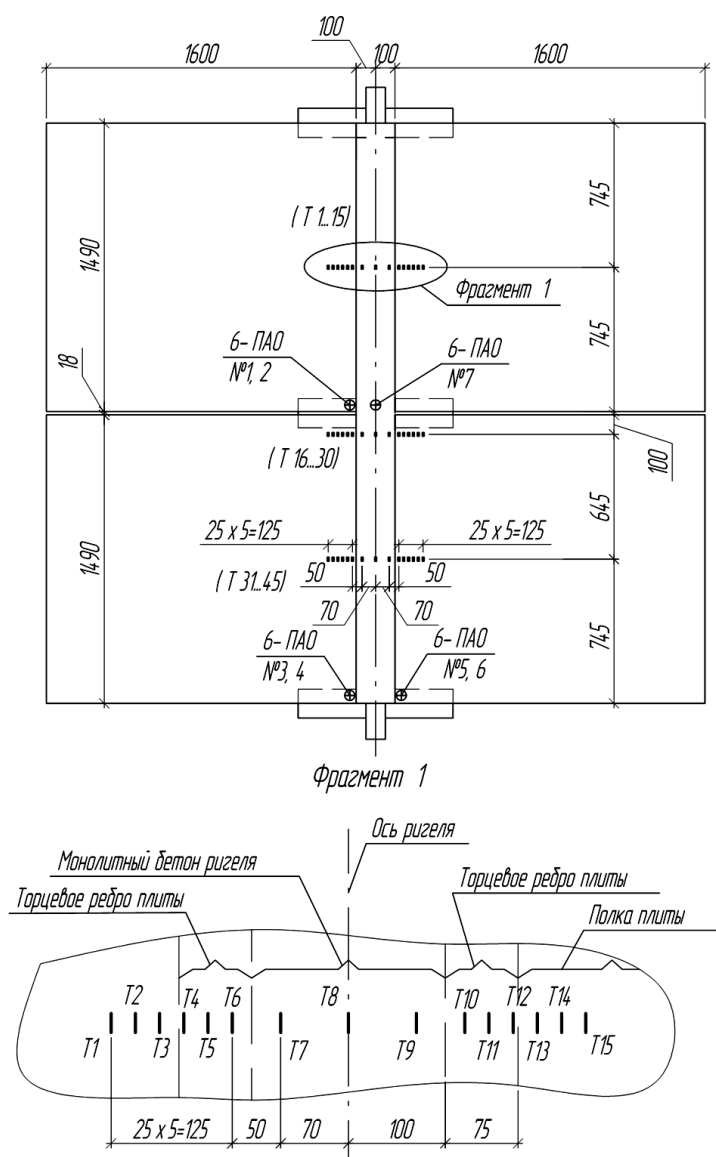


Рисунок 4 - Схема расположения тензорезисторов

При нагрузке 130 кН рост прогиба ограничивается у середины пролета ригеля. Гистограмма, характеризующая углы поворота крайних и средних продольных ребер плит, показана на Рисунке 5.

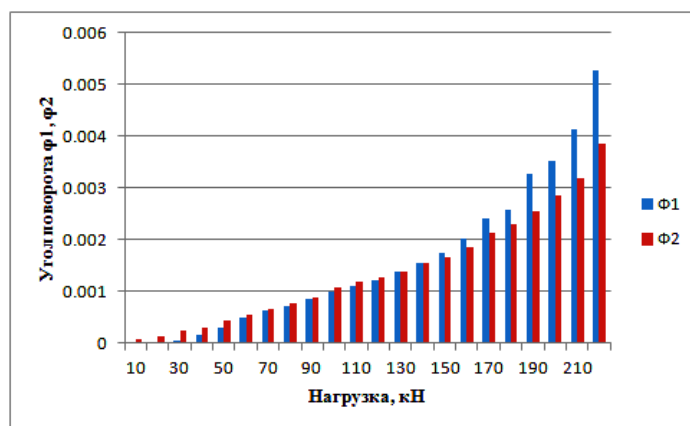


Рисунок 5 – Гистограмма, характеризующая углы поворота продольных ребер плит:
φ1 – угол поворота среднего ребра; φ2 – угол поворота крайнего ребра

Из Рисунка 5 видно, что угловые деформации крайних продольных ребер плит до достижения максимального прогиба ригеля больше, чем в средних ребрах: на 50% при загрузении 40 кН; на 3,5% при загрузении 120 кН.

При достижении максимального прогиба ригеля угловые деформации средних ребер больше, чем в крайних ребрах: на 4,8% при загрузении 140 кН; на 27% при загрузении 220 кН. Это свидетельствует о зависимости угловых деформаций продольных ребер плит от деформаций ригеля и о том, что крайние продольные ребра плит работают в наиболее тяжелых условиях и предельные усилия достигают максимальные значения в местах их соединения с ригелем.

Определяется изгибающий момент в сечении ригеля, проходящим через тензорезистор (Т23) с абсолютной деформацией $\varepsilon_x = 204 \cdot 10^{-6}$ при загрузении 130 кН и максимальном прогибе -7,9 мм. Величина изгибающего момента в расчетном сечении ригеля с учетом взаимодействия с плитами на 65,57 % ниже, чем в ригеле без учета совместной работы (Рисунок 6).

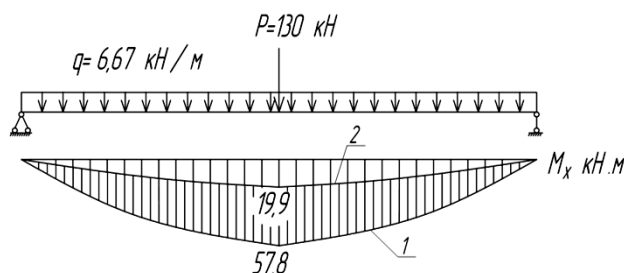


Рисунок 6 - Эпюры изгибающих моментов ригеля: 1) без учета совместной работы с плитами; 2) с учетом совместной работы с плитами

Разрушение системы происходило по наклонному сечению под действием поперечных сил в продольном ребре ближе к опоре при разрушающей нагрузке 230 кН (Рисунок 7).



Рисунок 7 – Образование наклонных трещин и разрушение продольного ребра плиты

Результаты исследования относительных линейных деформаций представлены в Таблице 1 и на Рисунке 8 по показаниям тензорезисторов (Т1-Т15).

Таблица 1 – Относительные деформации (мкм/м) по показаниям тензорезисторов (Т1-Т15)

Загружение (кН)	Относительные деформации (мкм/м) тензорезисторов Т1...Т15														
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
Δ10	-3	-3	-4	-5	-2	-1	-1	-9	-3	-5	-4	-4	-3	-4	-2
Δ20	-5	-5	-9	-10	-5	-5	-2	-21	-8	-14	-11	-11	-7	-6	-3
Δ30	-7	-8	-15	-15	-11	-12	-4	-33	-12	-23	-17	-16	-11	-10	-6
Δ40	-8	-10	-18	-21	-16	-18	-6	-46	-14	-29	-23	-21	-14	-13	-7
Δ50	-12	-15	-28	-30	-26	-32	-14	-68	-18	-42	-33	-30	-21	-20	-11
Δ60	-16	-20	-37	-41	-37	-45	-21	-95	-22	-54	-41	-38	-28	-24	-16
Δ70	-19	-24	-45	-48	-45	-56	-27	-117	-25	-63	-49	-46	-34	-30	-18
Δ80	-22	-29	-53	-57	-54	-67	-33	-139	-29	-74	-57	-52	-39	-34	-20
Δ90	-24	-31	-59	-64	-61	-79	-38	-158	-32	-82	-64	-59	-42	-38	-21
Δ100	-24	-32	-64	-69	-67	-86	-42	-170	-33	-89	-68	-63	-46	-39	-21
Δ110	-24	-33	-67	-74	-72	-94	-47	-180	-35	-96	-73	-66	-47	-39	-21
Δ120	-23	-34	-68	-78	-77	-100	-50	-190	-35	-103	-78	-68	-49	-39	-20
Δ130	-23	-35	-72	-83	-83	-110	-53	-199	-37	-112	-84	-74	-52	-40	-19
Δ140	-23	-35	-76	-87	-88	-118	-54	-208	-38	-121	-89	-78	-54	-41	-18
Δ150	-22	-35	-78	-93	-94	-126	-28	-215	-40	-130	-95	-82	-55	-41	-18
Δ160	-16	-32	-76	-94	-99	-131	-57	-220	-41	-143	-102	-88	-58	-42	-16
Δ170	-16	-31	-77	-102	-111	-150	-60	-253	-57	-141	-99	-80	-48	-30	-7
Δ180	-15	-26	-68	-97	-111	-153	-63	-270	-61	-141	-98	-79	-45	-26	-5
Δ190	-16	-28	-71	-104	-119	-164	-65	-286	-69	-144	-100	-80	-45	-26	-7
Δ200	-22	-32	-71	-108	-126	-178	-63	-298	-76	-146	-100	-80	-45	-25	-6
Δ210	-25	-34	-75	-113	-134	-190	-61	-307	-83	-146	-98	-75	-38	-18	-3
Δ220	-28	-40	-91	-130	-153	-218	-57	-323	-100	-126	-77	-50	-12	11	1

В результате экспериментальных исследований подтвердилась надежность сопряжения сборных плит со сборно-монолитным ригелем.

По показаниям тензорезисторов установлена линейная зависимость деформаций плиты от деформаций ригеля, что объясняется совместностью работы плит с ригелем и также подтверждается увеличением расчетной ширины верхней полки двутаврового сечения ригеля на 75%, что приводит к увеличению его несущей способности.

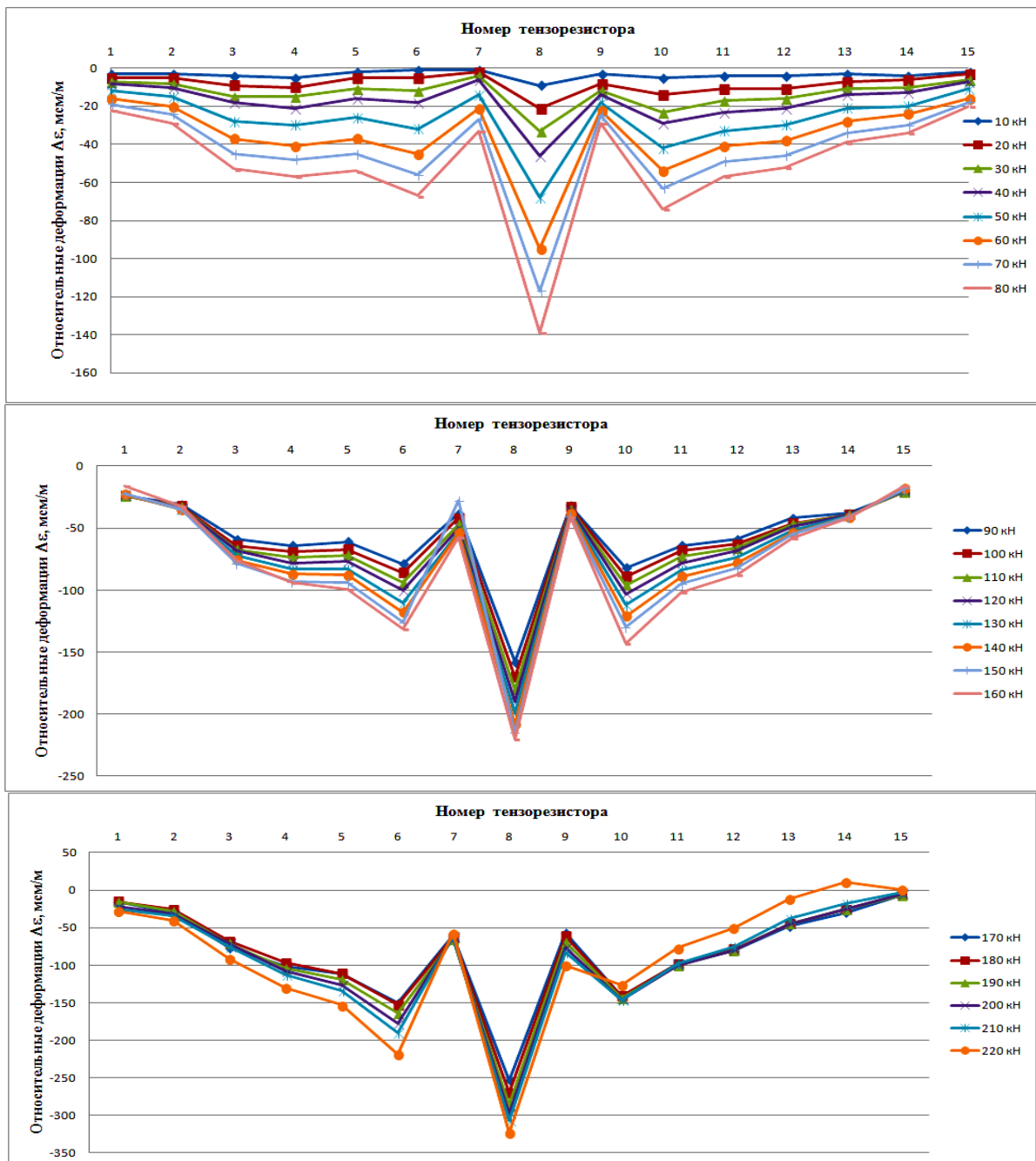


Рисунок 8 – Относительные линейные деформации при испытательных нагрузках по показаниям тензорезисторов T1-T15

В четвертой главе работы представлен численный расчет железобетонных ребристых плит с учетом взаимодействия с ригелем в сравнении с данными эксперимента.

Экспериментально был определен отрицательный изгибающий момент в опасном сечении модели плиты над опорой «В» соответствующий моменту в этом же сечении реальной плиты, полученному в результате загрузки плиты эксплуатационной нагрузкой (Рисунок 9).

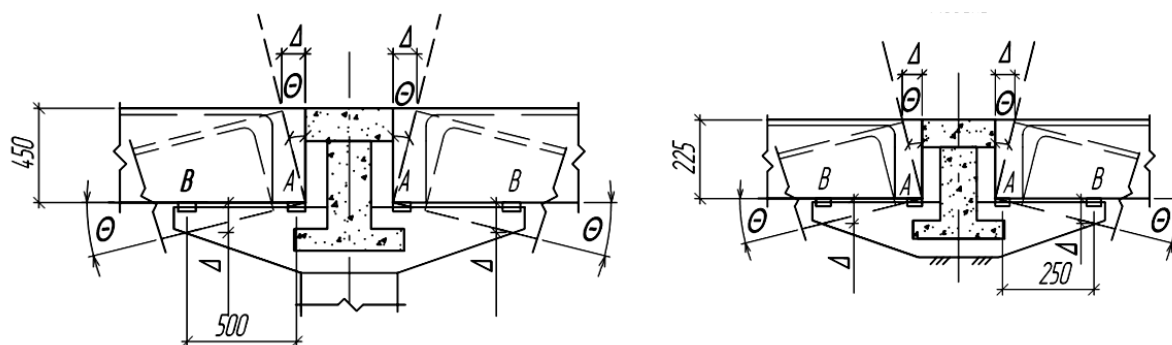


Рисунок 9 – Угол поворота плиты в рассматриваемом сечении:

а) в реальной плите; б) в модели

Результаты экспериментальных исследований по определению усилий в плите модели с учетом взаимодействия с ригелем отличаются от результатов расчетно теоретических исследований, разработанные во второй главе на 3,4 %. Моделирование железобетонных плит с жестким соединением с ригелем и расчеты приведены с использованием программного комплекса «SCAD Office 11.5».

Расчетная схема и конструкция рассматриваемой модели принята по результатам проведенных ранее численных и экспериментальных исследований. Для сравнения поведения железобетонных плит в результате совместной работы с ригелем в экспериментальной и вычислительной моделях при нагрузке 220 кН, были определены относительные деформации в плитах вдоль ригеля в зоне их жесткого сопряжения на расстоянии 245 мм от центра ригеля с двух сторон (Рисунок 10).



Рисунок 10 – Относительные деформации вдоль ригеля в зоне сопряжения с плитами экспериментальной и вычислительной моделей

В соответствии с рисунком 8 очевидно, что расчетная деформированная схема модели при вычислительном расчете совпадает с полученной в эксперименте. При расчете ригеля необходимо включить в его работу торцевые ребра плит и часть полки на расстоянии 245 мм с двух сторон, что соответствует расстоянию 490 мм в реальной конструкции и увеличивает его несущую способность, является разгружающим эффектом совместной работы плит с ригелем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной результат диссертационной работы – решение важной научно-технической задачи по исследованию совместной работы сборно-монолитной стропильной конструкции со сборными плитами покрытия, с учетом их работы по неразрезной схеме и разработке расчетной модели деформативности плит со стропильной конструкцией, позволяющей вовлечь в работу верхнего пояса ригеля торцевые ребра плит и часть полки, на основе проведенных экспериментально-теоретических исследований. Все поставленные цели и задачи выполнены.

Основные выводы и результаты работы сводятся к следующему:

1. При расчёте элементов покрытия с предложенной сборно-монолитной стропильной конструкцией необходимо учитывать влияние сдвигающих усилий, возникающих в зоне контакта с торцевыми ребрами плит и в местах соединения закладных деталей на опорных стенках с продольными ребрами,

деформативность продольного и торцевого ребра плиты покрытия, деформативность опорных стенок стропильной конструкции и условия закрепления плит покрытия в составе диска.

2. Предлагаемая сборно-монолитная стропильная конструкция и жесткое соединение ее с ребристыми плитами позволяет уменьшить расход предварительно напряженной арматуры плиты на 50 % при шаге стропильных конструкций 12 м по сравнению с типовыми решениями диска покрытия. При этом уменьшается высота покрытия в целом на 1-2 м у середины пролета стропильной конструкции при пролете 24 м, а также высота и масса сборной части стропильной конструкции, что уменьшает трудоемкость ее транспортирования и монтажа.

3. Теоретическое значение поперечной силы воспринимаемой сечением крайнего продольного ребра плиты над опорой «В» равно 214,38 кН при экспериментальном значении 128,48 кН. Сопоставление показало, что при расчете продольных ребер плит по наклонным сечениям необходимо учитывать рост поперечной силы на 40% в результате совместного деформирования с ригелем.

4. По результатам экспериментальных исследований было установлено что, изгибающий момент в расчетном сечении ригеля, проходящим через тензорезистор (Т23) с абсолютной деформацией $\varepsilon_x = 204 \cdot 10^{-6}$ при загрузке 130 кН с учетом взаимодействия с плитами на 65,57 % ниже, чем в ригеле без учета совместной работы.

5. По результатам экспериментальных исследований установлена линейная зависимость деформаций торцевых ребер плит от деформаций ригеля. При различных загрузках величины продольных деформаций торцевых ребер плит на 40-50% меньше продольных деформаций ригеля.

6. С помощью расчётного комплекса "SCAD Office " было осуществлено моделирование процесса деформирования торцевых ребер плит с учетом жесткого сопряжения с ригелем при двух вариантах жесткостей ригеля и подтверждено влияние жесткости ригеля на работу плит покрытия. При шаге

стропильных конструкций 12 м, увеличение жесткости опорных стенок на 80 % приводит к уменьшению изгибающего момента в середине пролета плиты на 9,4 % .

7. Максимальная ширина раскрытия наклонных трещин в продольном ребре над опорой составила 0,2 мм от разрушающей сосредоточной нагрузки 28,75 кН на продольное ребро, приложенной на расстоянии 600 мм от края плиты.

8. При расчете на прочность верхнего пояса предложенной стропильной конструкции необходимо включить торцевые ребра плит и часть полки в его работу увеличением ширины верхней полки на 75%.

По результатам проведенных экспериментально-теоретических исследований даны рекомендации по использованию результатов диссертации в практике проектирования промышленных зданий.

Предложенный метод расчета железобетонных ребристых плит покрытия с учетом разгружающего эффекта совместной работы позволяет:

- снизить материалоемкость и уменьшить монтажный вес конструкций;
- повысить эффективность работы конструкции покрытия, обеспечив совместность деформирования ригелей и ребристых плит.

Перспективы разработки темы исследований. На основе предложенных подходов по исследованию совместной работы плит со стропильной конструкцией необходимо проведение комплекса исследований по увеличению шага поперечных рам здания до 15 или 18м. Это позволяет более эффективно использовать площадь цеха при установке технологического оборудования или модернизации производства и ускорить монтаж здания.

Список публикаций по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Эззи Х. Покрытия здания на сборно-монолитных стропильных конструкциях [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, И.И. Шишов, Е.Н. Капцова // «Бетон и железобетон». – 2013. – №3. – С. 30 - 31.

2. Эззи Х. Несущие конструкции покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 или 18 метров [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, И.И. Шишов, М.А. Рязанов // «Бетон и железобетон». – 2015. – №3. – С.13-16.

3. Эззи Х. Расчет напряженно деформированного состояния железобетонной ребристой плиты покрытия с учетом взаимодействия с ригелем [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, М.В. Лукин // «БСТ». – 2016. – №4. – С. 38 – 40.

4. Эззи Х. Экспериментальные исследования совместного деформирования сборно-монолитной стропильной конструкции с плитами покрытия [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, В.И. Римшин // «БСТ». – 2016. – №4. – С. 35 – 37.

5. Эззи Х. Численный расчет железобетонных ребристых плит с учетом взаимодействия с ригелем в сравнении с данными эксперимента [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, В.И. Римшин // «БСТ». – 2016. – №5. – С. 38 – 39.

Публикации в других изданиях:

6. Эззи Х. Влияние горизонтального деформирования элементов стропильной рамы на прогиб [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина // Сборник научных трудов «Современные строительные конструкции из металла и древесины». – Одесса: ОГАСА, 2013. – С. 202-204.

7. Эззи Х. Определение прогибов стропильных конструкций [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, И.И. Шишов, // Материалы международной научно-практической конференции «Строительная наука». – Владимир: ВлГУ, 2013. – С. 170-173.

8. Эззи Х. Стропильные конструкции из линейных и плоских элементов и их совместная работа с плитами покрытий [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, И.И. Шишов, М.А. Рязанов // «Бетон и железобетон – взгляд в будущее». – 2014. – С. 407 - 414.

9. Эззи Х. Рамные стропильные конструкции и плиты покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 метров [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, И.И. Шишов, М.А. Рязанов // Материалы межд. науч. конф. «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и

реконструкции. – Чебоксары. – 2014. – С. 251-256.

10. Эззи Х. Железобетонная стропильная конструкция в виде рамы для покрытия промышленных зданий [Текст] / Х. Эззи // Материалы международной научно-практической конференции. «Строительство – 2014» Современные проблемы промышленного и гражданского строительства. – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 237-239.

11. Эззи Х. Сборно-монолитная стропильная конструкция и ее соединение с плитами покрытия [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, И.И. Шишов, М.А. Рязанов // Кровельные и изоляционные материалы. – 2014. – № 5. – С.28 -31.

12. Эззи Х. Инженерное моделирование поведения железобетонных плит покрытия при жестком соединении их с верхнем поясом ригеля [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина, А.А. Стрекалкин, В.И. Римшин // сборник: «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения». – Курск, 2015. – С. 267-270.

13. Эззи Х. Комплексное исследование работы плиты покрытия с ригелем [Текст] / Х. Эззи, С.И. Рощина // сборник: «Экология и ресурсо-энергосберегающие технологии на промышленных предприятиях, в строительстве, на транспорте и сельском хозяйстве». Сборник статей XV Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2015. – С. 115-121.

в патентах:

14. Патент на полезную модель № 147222 – «Железобетонное покрытие одноэтажного производственного здания» Рос. Федерация: С.И. Рощина, И.И. Шишов, Х. Эззи, М.А. Рязанов; патентообладатель ВлГУ, № 2014111352; заявл. 25.03.2014 г.; опубл. 29.09.2014 г.