

0-784392

На правах рукописи



ГИМРАНОВ ЛИНУР РАФАИЛЕВИЧ

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ ОДНОЭТАЖНЫХ
МНОГОПРОЛЕТНЫХ ЛЕГКИХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРОФИЛИРОВАННОГО НАСТИЛА С ВЫСОТОЙ ГОФР 153мм.**

Специальность 05.23.01 – “Строительные конструкции, здания и сооружения”

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2010

Работа выполнена на кафедре металлических конструкций и испытания сооружений ФГОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Кузнецов Иван Леонидович

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Молев Игорь Васильевич
Кандидат технических наук, доцент
Столбов Александр Васильевич

Ведущая организация: ЗАО "Казанский Гипростройавиатранс"

Защита состоится 27 октября 2010г. в 13.00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1, в ауд. 3 - 203 (зал заседания Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан «22» сентября 2010 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000728530

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор

Л.А. Абдрахманова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время востребованы одноэтажные легкие многопролетные здания, в частности, торгово-развлекательные комплексы, логистические узлы и др. Указанные здания имеют значительную протяженность в обоих направлениях, увеличенный шаг расстановки колонн и эффективное покрытие, включающее подстропильные и стропильные фермы из гнуто-сварных профилей (ГСП), по которым уложен профилированный стальной настил. Специфика эксплуатации рассматриваемых зданий требует обеспечения свободной планировки, поэтому, несмотря на увеличенный шаг установки колонн, максимально исключается устройство специальных элементов связей, обеспечивающих пространственную жесткость стального каркаса. Анализ конструктивных схем многопролетных зданий зарубежных разработок показывает, что их пространственная жесткость обеспечивается комплексным включением профилированного настила в совместную работу стального каркаса здания и жесткой заделкой колонн в фундаменте в обоих направлениях. При этом для повышения эффективности покрытия используется профилированный настил с увеличенной высотой гофра 153мм и выше. Из отечественных разработок наиболее конструктивно близкими к данному типу зданий являются здания, выполненные по серии «Молодечно», но отличающиеся однонаправленной заделкой колонн в фундаменте, наличием системы вертикальных связей по фермам и колоннам, распорок по нижним поясам стропильных ферм и профилированным настилом с максимальной высотой гофра 114мм. Таким образом, по всем качественным и количественным параметрам обеспечения пространственной жесткости отечественные здания отличаются от рассматриваемых, поэтому применение существующих методик и подходов к расчету и обеспечению пространственной жесткости не представляется возможным при проектировании многопролетных легких зданий с жесткой заделкой колонн в обоих направлениях. Следовательно, для успешного строительства и оценки технического состояния уже существующих многопролетных легких зданий необходимо проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований по обеспечению пространственной жесткости многопролетных легких зданий с использованием в покрытии нового типа профилированного настила с высотой гофра 153мм.

Цель и задачи работы:

Целью диссертационной работы является исследование вопросов расчета и обеспечения пространственной жесткости одноэтажных многопролетных легких зданий, имеющих жесткую заделку колонн в обоих направлениях, с применением в покрытии стального настила нового типа с высотой гофра 153мм.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ зарубежных и отечественных подходов к способам обеспечения пространственной жесткости легких одноэтажных многопролетных зданий и методикам по учету профилированного настила в пространственной работе их каркаса;

- определить расчетные геометрические характеристики нового типа профилированного настила повышенной жесткости с высотой гофра 153мм из стали по ГОСТ 52246-2004;

-определить параметры сдвиговой жесткости профилированного настила с высотой гофры 153мм и разработать рекомендации по ее учету в обеспечении пространственной жесткости здания;

-разработать рекомендации по проверке вертикального положения стропильных ферм покрытия, выполненных из ГСП, при наличии диска жесткости по их верхнему поясу;

-исследовать влияние конструктивных и нагрузочных факторов на пространственную жесткость многопролетных зданий с колоннами, имеющими жесткую заделку на фундаменте в обоих направлениях.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- впервые определены расчетные редуцированные геометрические характеристики профилированного настила с высотой гофр 153мм из стали по ГОСТ52246-2004;
- впервые численно и экспериментально исследована сдвиговая жесткость профилированного настила с высотой гофры 153мм и даны рекомендации по ее учету в пространственной работе каркаса многопролетных легких зданий с заделкой колонн в обоих направлениях;
- предложена методика проверки вертикального положения ферм с опиранием в уровне верхнего пояса в покрытиях зданий с диском жесткости из рассматриваемого профилированного настила, позволяющая оценить необходимость установки связей и распорок;
- исследована специфика влияния перепада температур в рассмотренных многопролетных легких зданиях, и предложена методика оценки несущей способности профилированного настила и его креплений на данное воздействие;

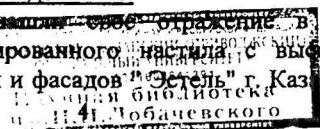
Достоверность результатов: степень достоверности научных результатов обеспечена проведением исследований с применением научно обоснованных методик, современных приборов и оборудования, а также экспериментальной проверкой результатов, полученных по рекомендуемым конечно-элементным моделям.

Практическая значимость:

- получены расчетные геометрические параметры нового типа профилированного настила с высотой гофры 153мм из стали по ГОСТ52246-2004, позволяющие определить его несущую способность и жесткость;
- Определены параметры сдвиговой жесткости профилированного настила с высотой гофры 153мм и разработаны рекомендации по ее учету в обеспечении пространственной жесткости;
- даны рекомендации по расчету креплений профилированного настила с учетом температурного воздействия;
- разработаны новые конструктивные решения, защищенные патентами РФ, элементов каркаса и покрытия, по обеспечению пространственной жесткости многопролетных зданий.

Реализация результатов исследований.

Результаты исследований ~~нашли свое отражение~~ в Рекомендациях по применению стального профилированного настила с высотой гофра 153мм, производства ООО «Завод кровли и фасадов "Эстель" г. Казань, 2007г., а также в



технических решениях по возможной дальнейшей эксплуатации Торгово-развлекательного центра «Мега-Казань» (х/д № 21/11-05 от 29.11.05) и несущих конструкций здания ледового дворца спорта «ТАТНЕФТЬ-АРЕНА» (х/д №22/8-09/197/09-п от 28.09.2009).

На защиту выносятся:

- обзор и систематизация зарубежного и отечественного опыта учета пространственной работы в многопролетных легких зданиях с применением в покрытиях профилированного настила;
- численные и экспериментальные исследования несущей способности и сдвиговой жесткости настила с высотой гофры 153мм;
- методика оценки деформативности стального каркаса одноэтажных многопролетных легких зданий с применением в покрытии настилов с высотой гофры 153мм;
- методика оценки необходимости установки связей, обеспечивающих вертикальное положение стропильных ферм из ГСП, с опиранием в уровне верхнего пояса;
- методика определения усилий в элементах крепления профилированного настила к несущим конструкциям, зависящих от перепада температур в многопролетных зданиях, с жесткой заделкой колонн в обоих направлениях.

Апробация работы.

Основные результаты выполненных исследований доложены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава КГАСУ, 59,60,61,62 научных конференциях 2007-2010 годов, 10-й юбилейной научной международной научно-технической конференции «Строительство, коммунальное хозяйство», Уфа, 2006, на всероссийской научной конференции студентов и аспирантов «Молодые исследователи регионам», Вологда, 2009.

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 9 работ, в том числе три изобретения, защищенных патентом РФ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и приложения. Работа изложена на 153 листах машинописного текста, содержит 3 таблицы, 105 рисунков в виде графиков, схем, фотографий. Список литературы включает 125 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований.

В первой главе описаны и исследованы зарубежные и отечественные конструктивные подходы, а также методики по обеспечению пространственной жесткости каркасов зданий из легких металлических конструкций и покрытий с применением стального профилированного настила. Основы в оценке пространственной жесткости на примере промышленных зданий в нашей стране были заложены Е.И. Беленя, М.М. Бердичевским, Н. С. Стрелецким, И.Я. Белоцерковским, А.Н. Гениевым, М.С. Владовским. В данных работах пространственная жесткость каркаса здания обеспечивалась системой горизонтальных и вертикальных связей, распорок по колоннам и покрытию, а

также сплошным диском, образованным железобетонными плитами покрытия. Профилированный настил в покрытиях данных зданий не рассматривался как сплошной диск покрытия. Впервые в нашей стране рассматривать покрытие из профилированного стального настила в качестве сплошного диска покрытия конечной жесткости одноэтажных промышленных зданий предложил Э.Л. Айрумян. Результатом его исследований стали Рекомендации по учету жесткости диафрагм из стального профилированного настила в покрытиях одноэтажных производственных зданий при горизонтальных нагрузках, которые и по сей день используются проектными организациями. В данной работе диафрагма из стального профилированного настила перераспределяет горизонтальные нагрузки между несущими конструкциями каркаса для дальнейшей их передачи на фундамент, т.е. выполняет функцию горизонтальных связей по покрытию. Для определения деформативности диска используется понятие эталонной сдвиговой жесткости, которая определяется экспериментальным путем. Прочность диска характеризуется достаточной несущей способностью элементов крепления настила к несущим конструкциям. Рассматривается два варианта диафрагм- продольные и поперечные. В продольных диафрагмах возможны следующие два случая: это распределение локальной нагрузки с одной рамы каркаса на соседние и равномерная передача горизонтальной нагрузки через диск из профнастила на каркас. Оба случая подразумевают совместную работу каркаса, обладающего определенной жесткостью, в направлении действия нагрузки и диска из стального профилированного настила. Деформативность каркаса в целом определяется с помощью аналитических формул, представленных в соответствующих рекомендациях. В поперечных диафрагмах, где направление действия горизонтальных нагрузок происходит из плоскости рамы (каркас не работает совместно с диафрагмой), диафрагма из профнастила заменяется системой фиктивных стержней, обладающих той же деформативностью, что и сплошной диск (рис.1.).

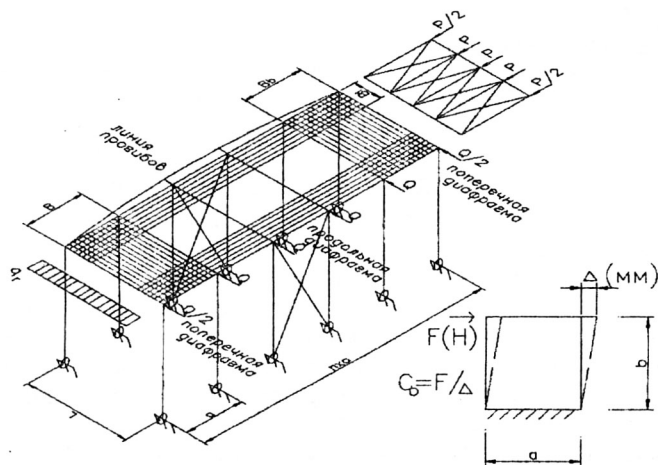


Рис.1. Отечественные подходы в учете пространственной работы каркаса с покрытием из стального профилированного настила.

Исследования в области пространственной жесткости зданий с покрытием из стального профилированного настила велись также и за рубежом. Первые исследования провели W. Bates, E. Bryan, S.B. Barnes, A.H. Nilson, L.D. Luttrell. Особую роль в отработке расчетной методики также сыграли Steel Deck Institute (SDI) Illinois и Canadian Sheet Steel Building Institute (CSSBI). Результатами этих исследований стали методики определения прочности и деформативности диафрагм из стального профилированного настила в покрытиях зданий. В основе данных методик лежат эмпирические зависимости, полученные в ходе полномасштабных экспериментов. Прочность диафрагм характеризуется достаточной несущей способностью элементов креплений, а также исключением возможности потери устойчивости диафрагмы из своей плоскости. Деформативность диафрагмы определяется ее жесткостью, выраженной либо через параметр отношения усилия к единице перемещения, либо через параметр перемещения, отнесенного к единичной силе.

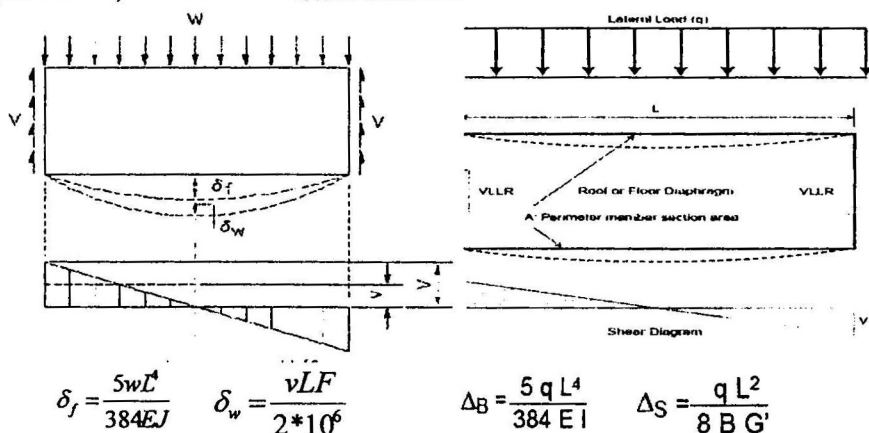


Рис.2 Расчетные схемы диска жесткости покрытия в зарубежных методиках.

Диафрагма рассматривается как свободно-опертая балка с гофрированной стенкой, перемещения которой складываются из изгибной и сдвигающей составляющих (рис.2). Деформативность каркаса с определенными характеристиками сдвиговой жесткости настила оценивается программными комплексами. Стоит отметить, что в зарубежной практике понятие сплошного диска из профнастила более широкое, т.е. диском считается как настил, прикрепленный в каждой волне, так и через волну и даже через две волны, а также имеющий шаг креплений листов настила между собой от 100 до 1000мм, меняются лишь его деформативные характеристики. В отечественной практике диафрагмой жесткости считается настил, прикрепленный в каждой волне и имеющий шаг креплений настила между собой не более 500мм. Высота гофров варьируется от 35 до 114мм, а в зарубежной - от 35 до 200мм.

Как показано выше, профилированный настил играет ключевую роль в обеспечении пространственной жесткости здания как в зарубежных, так и в отечественных методиках. Поэтому кроме совершенствования методики учета профилированного настила в пространственной работе многопролетных легких

зданий необходимо также проведение исследований по определению расчетных характеристик в случае применения новых типов профилированного настила.

Исходя из проведенного анализа существующих методик и подходов в обеспечении пространственной жесткости, сформулированы цель и задачи настоящего исследования.

Во второй главе описываются численные и экспериментальные исследования нового типа профилированного настила с высотой гофры 153мм из стали по ГОСТ 52246-2004, производство которого налажено ООО «Эстель» в г. Казани. Геометрические параметры данного профилированного настила приведены на рис.3 а

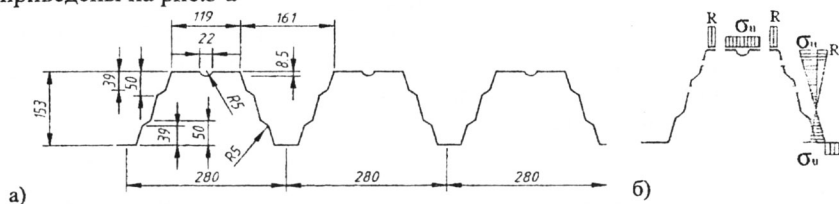


Рис.3.Профилированный настил Н153-840.

а) геометрические параметры сечения, б) эпюра напряжений в настиле при закритической работе.

Геометрические характеристики, а именно, J_x и W_x нового профилированного настила толщиной от 0,8 до 1,5мм из стали по ГОСТ 52246-2004, для групп поставки стали 250, 280, 320, 350, определяются с учетом выключения части сечения, работающего в закритической стадии (рис.3б), из восприятия действующих напряжений по методике Я.Брудка. В зависимости от толщины и расчетного сопротивления стали зоны выключения участков сечения уменьшались или увеличивались. Численные исследования несущей способности производились на ПК Ansys и Лира, расчетная модель настила приведена на рис. 4.

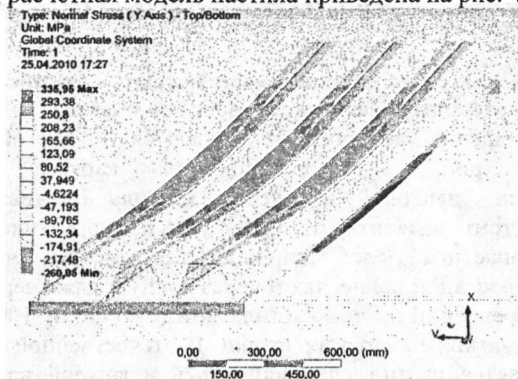


Рис.4. Расчетная модель профилированного настила Н153-840.

Максимальные напряжения возникают в узких полках настила вследствие его несимметричного сечения. Для подтверждения численных данных были проведены экспериментальные исследования, результаты которых отражены на рис.5.

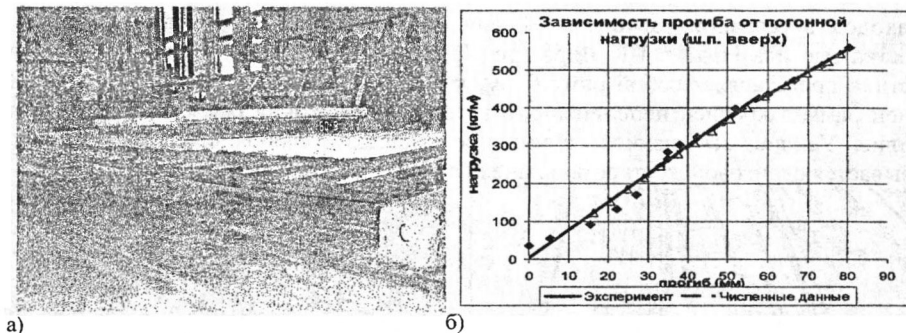


Рис.5 Экспериментальные исследования несущей способности настила Н153-840-1,5
 а) настил в процессе загрузки, б) график зависимости прогиба от нагрузки

Анализируя эти результаты, можно сделать вывод, что принятые теоретические положения и результаты численных исследований подтвердились в ходе эксперимента (рис.5б). По результатам дальнейших исследований несущей способности и деформативности нового профилированного настила было выявлено, что возникает необходимость определения рациональной прочности применяемой стали. Например, при однопролетной схеме опирания предельное состояние настила определяется его жесткостью и при типовом составе мягкой кровли, а также в IV снеговом районе не целесообразно применение настилов с расчетным сопротивлением больше 280 МПа.

Для определения сдвиговой жесткости панели эталона настила Н153-840 была выполнена отработка в ПК «Лира» численных моделей настилов отечественного сортамента, для которого известны значения сдвиговой жесткости. Предложенная модель включала не только настил, но и узлы крепления его к несущим конструкциям. На рис.6б и приведен сравнительный график численных и нормативных данных для настилов отечественного сортамента на примере настилов с толщиной 0,8мм.

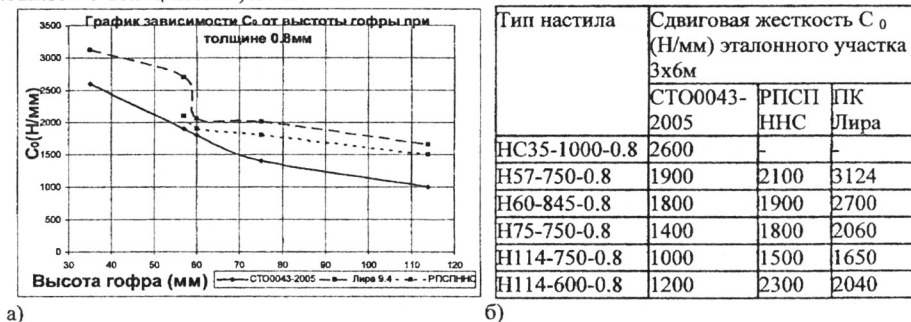


Рис.6. Сопоставление численных результатов и нормативных данных.
 а) график зависимости сдвиговой жесткости от высоты гофра; б) сравнение данных нормативных источников с результатами, полученными на ПК «Лиры»

Результатом данных исследований стало определение коэффициента расхождения между численно определенной сдвиговой жесткостью панели эталона, полученной в ПК Лиры, и нормативными данными. После отработки

подходов в создании расчетной модели они были созданы в виде эталонного участка настила Н153 в ПК Ли́ра (рис.7а) и Ansys (рис.7б). Эталонный участок настила представляет собой раму 6х6м, к которой прикреплен профнастил, один конец рамы закреплен неподвижно, а к свободному концу рамы прикладывается усилие. Усилие, вызывающее единичное смещение свободного конца рамы, и называется сдвиговой жесткостью панели эталона C_0 (Н/мм).

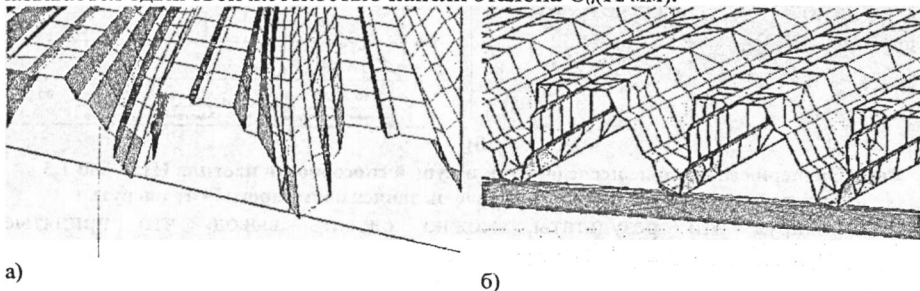


Рис.7. Деформированные модели настила Н153-840 в ПК Ли́ра и Ansys
а)деформированная модель ПК Ли́ра; б)деформированная модель ПК Ansys.

Результаты численных исследований на данных расчетных комплексах приведены в табл. 1. Крепления в расчетной модели панели эталона в ПК Ansys больше соответствует креплениям в виде сварных заклепок, а не винтов различного типа. Податливость креплений из винтов выше, чем у сварных заклепок, что учитывается в «Рекомендациях по учету пространственной работы профилированного настила в покрытиях одноэтажных промышленных зданий.» увеличением сдвиговой жесткости панели эталона с креплениями из сварных заклепок на величину коэффициента, равного 1,2. Следовательно, сдвиговая жесткость панели эталона, полученная на ПК Ansys с креплениями из винтов, меньше на 20%.**

Таблица 1.

Значение сдвиговой жесткости настила Н153 в различных ПК

Марка настила	Сдвиговая жесткость C_0 (Н/мм)			
	ПК Ли́ра	ПК Ли́ра*	ПК Ansys	ПК Ansys**
Н153-840-0.8	870	530	960	800
Н153-840-0.9	1060	640	1140	950
Н153-840-1.0	1243	750	1315	1090
Н153-840-1.1	1415	860	1470	1220
Н153-840-1.2	1570	951	1640	1360
Н153-840-1.3	1710	1035	1800	1500
Н153-840-1.4	1840	1115	1970	1640
Н153-840-1.5	1960	1190	2140	1780

*- значения эталонной сдвиговой жесткости с учетом коэффициента расхождения.

**-значения эталонной сдвиговой жесткости с учетом данных нормативной литературы.

Также были проведены испытания на сдвиг самосверлящих винтов. Марка стали в образцах для испытаний была аналогична марке стали профилированного настила при эксперименте на сдвиговую жесткость. В момент исчерпания несущей способности соединения его деформация может достигать от 1 до 1,3мм. В составе диафрагмы усилия среза в креплениях достигают 200кГ, при этом деформация составляет 0,15-0,2мм в каждом креплении. По этой причине уменьшение

сдвиговой жесткости панели эталона при использовании самосверлящих винтов подтверждается и экспериментальными исследованиями элементов крепления. Для подтверждения численных исследований сдвиговой жесткости была проведена серия экспериментов с размерами эталонной панели 6х6м из настила Н153-840-1,5.

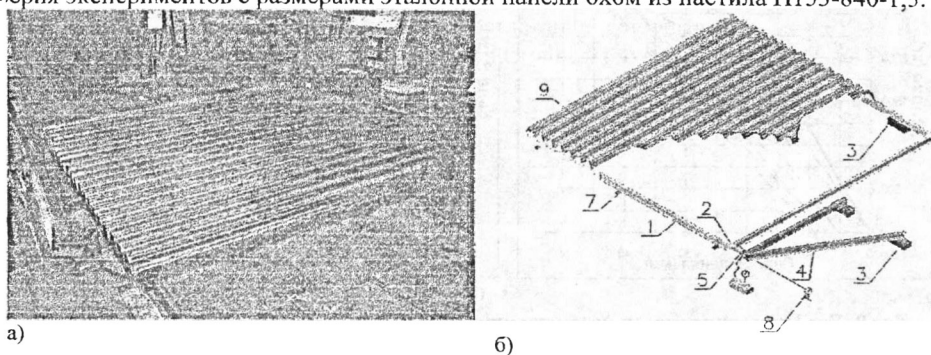
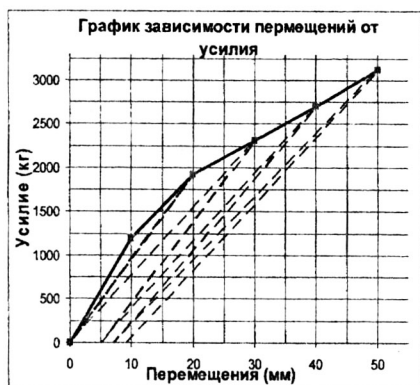


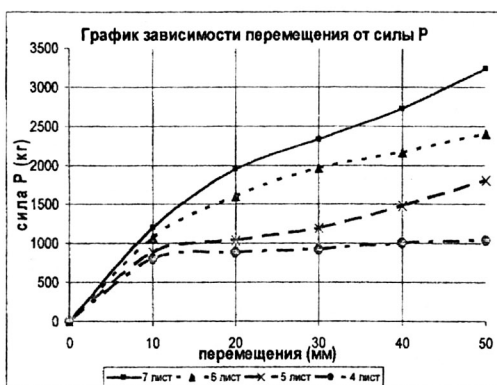
Рис.8 Схема испытательной установки и процесс испытаний

а) настил в процессе испытаний на сдвиговую жесткость; б) схема испытательной установки, где 1 - металлическая рама из четырех швеллеров, 2-шарниры, 3-жесткое крепление к силовому полу, 4- упор, 5- гидравлический цилиндр, 6- насосная станция, 7- катковые опоры, 8- прогибомер дистанционного типа, 9- профилированный настил 153-840-1,5.

Испытательная установка представляет собой стальную раму, собранную из четырех швеллеров №16 (Рис. 8). Швеллеры-1 длиной 6м в узлах соединены между собой шарнирами-2, а один из швеллеров жестко прикреплен к силовому полу-3, другой же опирается на катковые опоры -7. Между упором-4 и незакрепленным от горизонтального перемещения концом панели эталона установлен гидроцилиндр-5. Гидроцилиндр -5 подключен к насосной станции-6, снабженной манометром с ценой одного деления -38,8 кг. К раме в месте крепления гидроцилиндра присоединена струна, которая другим концом соединена с блоком дистанционного индикатора перемещения (цена деления индикатора 0,1мм). На раму укладывается семь профилированных листов Н153-840-1,5 длиной 6м. Профилированные листы крепятся к противоположно расположенным швеллерам при помощи самосверлящих винтов 6,3х25, установленных в каждой волне. Между собой профилированные листы объединены внахлест и соединены комбинированными заклепками диаметром 4 мм, установленными с шагом 300мм. Приложение нагрузки к панели-эталону размером 6х6 м осуществляется поперек направления гофр при помощи гидроцилиндра, соединенного с насосной станцией. При этом регистрируется как величина прикладываемого сосредоточенного усилия, так и перемещение рамы в месте приложения нагрузки. Загружение выполнялось этапами до достижения перемещения в 10, 20, 30, 40 и 50 мм, при этом нагрузка перед каждым последующим этапом загрузки сбрасывалась до 0, и по индикатору производилось определение остаточного прогиба. После определения сдвиговой жесткости эталонного участка настила 6х6м, состоящего из 7 листов производились испытания участков настила с меньшим количеством листов. Результаты эксперимента приведены на рис.9.



а)



б)

Рис.9. Графики зависимости перемещения от усилия при испытании настила на сдвиг

а) график зависимости перемещения от усилия сдвига при поэтапном нагружении;

б) график зависимости перемещения от усилия сдвига для различных размеров панели.

Экспериментальные данные показывают, что эталонная жесткость настила Н153-840-1,5 составляет 1200 Н/мм, что соответствует результатам, полученным в ПК Лира, с учетом коэффициента расхождения.

В третьей главе рассмотрено влияние конструктивных элементов, их взаимосвязи и расположения на пространственную жесткость каркаса многопролетного здания, имеющего заделку колонн в обоих направлениях.

Здания подобного типа теоретически могут быть реализованы без каких-либо вертикальных связей по колоннам. Однако после исследования жесткости ряда колонн каркаса со связями и без связей (с жесткой заделкой колонн) было выявлено, что их значения будут сопоставимы лишь при очень большой протяженности последних, что не удовлетворяет требованиям норм допустимых размеров температурного блока. По этой причине установка связей в крайних рядах колонн представляется наиболее рациональным решением. Исследуемые здания имеют большую протяженность в обоих направлениях и тяготеют к квадратной или близкой к ней форме в плане. Следовательно, учет заделки колонн в обоих направлениях при оценке совместной работы каркаса и диафрагмы является актуальной задачей, которая была решена в ПК Лира. Исследовалась модель многопролетного каркаса с диафрагмой, которая моделировалась плоскими элементами с такой толщиной, чтобы ее сдвиговая жесткость была эквивалентна сдвиговой жесткости профилированного настила. Деформативность каркаса оценивается с помощью коэффициента β_m , который характеризует вклад диафрагмы в общую деформацию каркаса в середине пролета диафрагмы, т.е. выражает отношение максимального перемещения каркаса с диафрагмой к максимальному перемещению каркаса без диафрагмы. Построены зависимости β_m от соотношения жесткости участка диафрагмы между соседними рамами и единичной жесткости каркаса в направлении действия нагрузки, а также жесткости каркаса из плоскости действия нагрузки (рис. 10). Приведены также табличные значения β_m , которые могут быть использованы для определения

деформативности здания с наличием диафрагмы путем умножения на β_m перемещения его каркаса без диафрагмы.

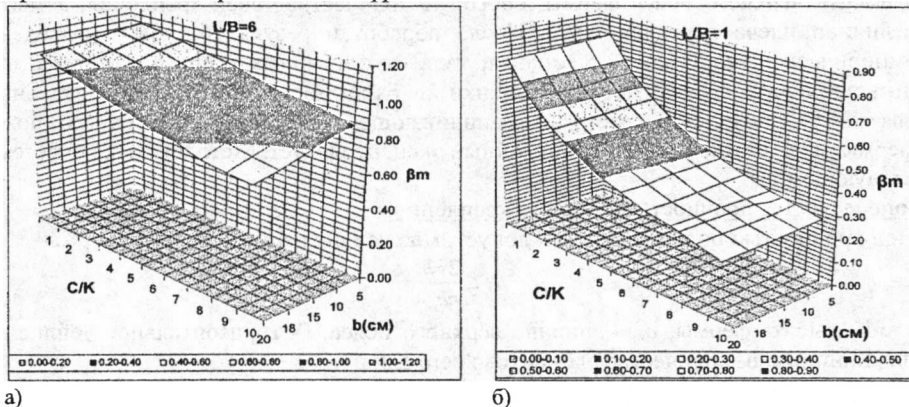


Рис. 10. Графики зависимости коэффициента β_m от соотношения C/K и b
а) при $L/B=6$; б) при $L/B=1$

C - сдвиговая жесткость диафрагмы (Н/мм), K - жесткость каркаса (Н/мм) в плоскости действия нагрузки, b - ширина колонны квадратного сечения с жесткостью эквивалентной жесткости каркаса из плоскости действия нагрузки.

Проверка вертикального положения стропильных ферм из ГСП.

Еще одним важным вопросом является исследование вертикального положения стропильных ферм из гнуто-сварных профилей с опиранием в уровне верхнего пояса. Актуальность данного вопроса продиктована тем, что в некоторых зданиях зарубежного образца отсутствуют вертикальные связи по фермам и распорки по их нижним поясам, поэтому для обоснования необходимости установки данных элементов требуется разработка соответствующей методики. Вертикальное положение ферм обеспечивается крутильной жесткостью верхнего пояса, а также жесткостью узла сочленения верхнего пояса и профилированного настила. Учет крутильной жесткости верхнего пояса в исследовании вычислен методами строительной механики, а жесткость узла сопряжения верхнего пояса фермы и профилированного настила исследовалась на ПК Ansys (рис. 11).

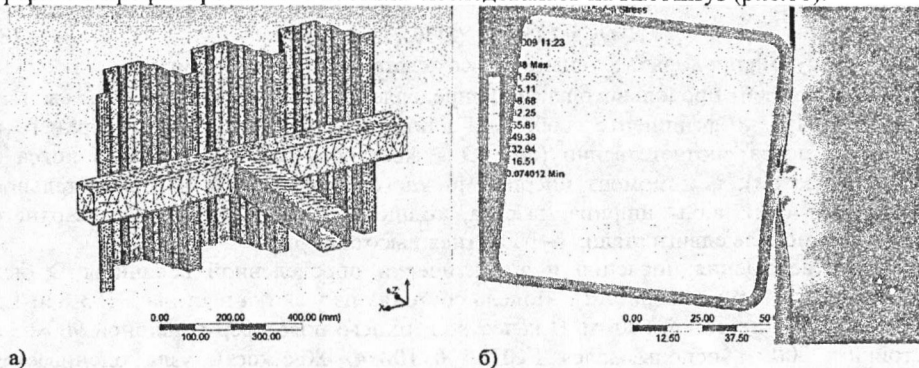


Рис.11. Расчетная модель узла сопряжения настила и верхнего пояса фермы
а) конечно-элементная разбивка; б) деформированная схема узла.

Варьировались различные параметры данного узла, такие как ширина и толщина элемента верхнего пояса фермы, способ и количество точек крепления, а также величина плеча передачи силы. После обработки результатов были выведены эмпирические зависимости жесткости узла от описанных выше параметров, что позволило разработать методику оценки необходимости установки вертикальных связей. В качестве параметра, ограничивающего перемещение нижнего пояса фермы, из плоскости был взят случайный эксцентриситет. Методика заключается в следующем:

-определяется прочность элементов крепления.

Под прочностью подразумевается допустимое усилие на нижний пояс фермы

$$N \leq \frac{2Fh}{nb_{\text{вн}}}, \quad (1)$$

где h - высота фермы, $b_{\text{вн}}$ - ширина верхнего пояса, F - горизонтальное усилие на нижний пояс, n - количество элементов крепления;

- определяется деформативность.

Под деформативностью D (кг/см) понимается усилие, которое необходимо приложить к нижнему поясу, чтобы получить его единичное перемещение

$$D = 0.3 * D_h * \frac{D_t}{472} * \frac{D_b}{1147}; \quad (2)$$

$$D_h = 269h^2 - 1051h + 1062; \quad (3)$$

$$D_b = 3.73b^2 - 42.1b + 690; \quad (4)$$

$$D_t = 361.4t - 16.4t^2 - 1106, \quad (5)$$

здесь h - высота фермы (м), b -ширина верхнего пояса (см), t -толщина стенки элемента верхнего пояса (мм):

-допустимая распределенная горизонтальная нагрузка на нижний пояс:

$$q_1(\text{кг/м}) \leq (D * L_{\text{вн}} + \frac{4Ga^2b^2t}{h^2L_{\text{вн}}(a+b)}) \left(\frac{37.5i_{\text{вн}} + L_{\text{вн}}}{750L_{\text{вн}}} \right); \quad (6)$$

-допустимая сосредоточенная горизонтальная нагрузка на нижний пояс:

$$F(\text{кг}) \leq Q_{\text{гс}} \leq \left(\frac{D * L_{\text{вн}}}{100} + \frac{4Ga^2b^2t}{h^2L_{\text{вн}}(a+b)} \right) \left(\frac{37.5i_{\text{вн}} + L_{\text{вн}}}{750} \right), \quad (7)$$

здесь

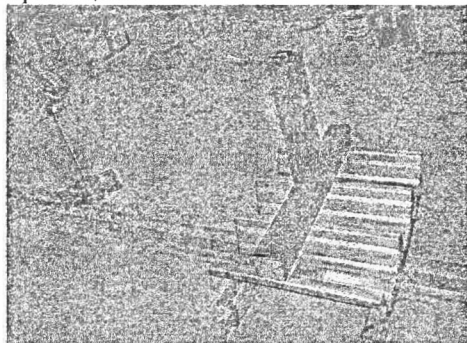
$$Q_{\text{гс}} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E/R_s) \sum N / \varphi, \quad (8)$$

где $\sum N$ – сумма продольных усилий во всех сжатых раскосах фермы;

φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый для расчетной длины сжатых раскосов при коэффициенте свободной длины $\mu=2$; $L_{\text{вн}}$ и $L_{\text{нп}}$ длина верхнего и нижнего пояса соответственно (см); D - жесткость заделки верхнего пояса в настиле (кг/см); $i_{\text{нп}}$ - момент инерции нижнего пояса фермы в горизонтальной плоскости (см); a, b, t - ширина, высота, толщина замкнутого сечения верхнего пояса, G - модуль сдвига стали; h - расчетная высота фермы.

Для подтверждения численно и аналитически определенной величины D был проведен эксперимент (рис.12). Модель состояла из участка настила Н153-840-1.5 шириной 840 и длиной 600мм. В качестве верхнего пояса фермы длиной 900мм и стойки 500мм использовался ГСП 100х100х4. Жесткость узла оценивается

усилием, которое требуется приложить к концу стойки, чтобы получить единичное перемещение.



а)



б)

Рис.12. Экспериментальные исследования узла сочленения верхнего пояса фермы и профнастила.

а)экспериментальная установка, б)график зависимости перемещения от усилия.

Результаты эксперимента показали достаточную сходимость с результатами численно-аналитических исследований.

Учет влияния неразрезности опирания профилированного настила на его сдвиговую жесткость.

В отечественных нормах неразрезность опирания профнастила учитывается увеличением сдвиговой жесткости настила на 20%, при этом сдвиговая жесткость обратно пропорциональна длине и прямо пропорциональна ширине диафрагмы. Например, при увеличении ее ширины (стороны, вдоль которой действует нагрузка) в два раза при неизменной длине сдвиговая жесткость увеличится в два раза. При проведении численных исследований на ПК Лира с учетом отработанных расчетных моделей было установлено, что при двухпролетной схеме опирания настила сдвиговая жесткость увеличивается на 80%, при трехпролетной - от 2.2 до 2.6 раза в зависимости от типа профиля, при четырехпролетной - от 3.3 до 3.6 раза. Таким образом, при расчетах не учитывается существенный резерв сдвиговой жесткости настила при его неразрезном опирании. Для более точной оценки деформативности диафрагмы жесткости, используя существующую отечественную методику необходимо увеличить сдвиговую жесткость на величины, указанные выше, а высоту панелей для системы фиктивных стержней принимать равной длине профилированного листа, а не шагу несущих конструкций.

Влияние протяженности и многопролетности здания на его жесткость при температурных воздействиях.

В многопролетных и протяженных в обоих направлениях зданиях с применением в покрытиях профилированного настила встает вопрос возникновения дополнительных усилий в настиле и его креплениях, от перепада температур (например, на стадии возведения). Для исследования данного вопроса в ПК Лира была смоделирована расчетная модель нескольких блоков каркаса здания ТРК МЕГА Икеа Казань, размерами в плане 80x48м, блоки состояли из стропильных и подстропильных ферм, а также колонн. Поскольку влияние усилия

от перепада температур на каркас профнастила будет происходить лишь вдоль гофр, роль сплошного диска покрытия играла стержневая система, в которой каждый гофр моделируется отдельным стержневым элементом (рис.13а).

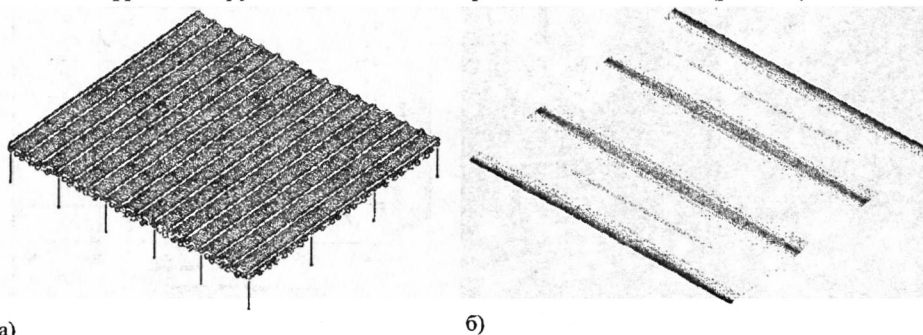


Рис.13. Исследования влияния перепада температур на жесткость каркаса

а) расчетная модель каркаса; б) Распределение усилий в настиле от перепада температур.

Максимальные усилия сжатия в профлисте возникают над рядами колонн, вследствие их большей жесткости по сравнению с жесткостью ферм из плоскости, где усилия компенсируются смещением верхних поясов ферм (рис.13б). Очевидно, что ширина сжатой зоны настила будет зависеть от жесткости стропильных ферм из плоскости, для оценки этого влияния получен параметр:

$$V = \frac{R}{f} = \frac{384 EJ}{10 L^3} \text{ (кг/см)}, \quad (9)$$

где R- опорная реакция стропильной фермы от действия горизонтальной нагрузки; f – перемещение в середине пролета; E - модуль упругости стали, J – момент инерции сечения верхнего пояса фермы из плоскости; L- пролет стропильной фермы.

В ходе численных исследований для определения ширины сжатой зоны настила над рядом колонн выведена следующая эмпирическая формула

$$B = 3.113 \ln(V) + 0.51 \quad (10)$$

После определения ширины сжатой зоны можно вычислить площадь ее сечения, для определения усилия в самом настиле. А т.к. усилие зависит как от длины ригеля, так и от изгибной жесткости ряда колонн, введен параметр, учитывающий оба данных условия

$$F = K * L / 100 = \frac{3 E J_k L n}{10000 H^3}, \quad (11)$$

где

$$K = \frac{3 E J_k n}{H^3} \text{ (т/см)}. \quad (12)$$

Здесь, L - (см) общая длина ригеля каркаса; J_k - (см⁴) момент инерции сечения колонны; H - (см) высота колонн каркаса, n - количество колонн в каркасе.

Используя данный параметр, были построены графики зависимости усилия N от параметра F, для площади сжатой зоны настила, равной 23.5, 45, 90, 180, 360, 720 см² (рис. 14) и выведены следующие эмпирические зависимости:

$$\begin{cases}
 N_{A23.5} = 0.0337F^3 - 6 \cdot 10^{-5}F^4 - 6.7791F^2 + 628.09F + 774.31 \\
 N_{A45} = 0.0264F^3 - 4 \cdot 10^{-5}F^4 - 6.1168F^2 + 757.08F + 489.62 \\
 N_{A90} = 0.0054F^3 - 3.0809F^2 + 765.68F + 590.97 \\
 N_{A180} = 745.66F - 1.1937F^2 + 957.52 \\
 N_{A360} = 794.71F - 0.8449F^2 + 616.81 \\
 N_{A720} = 813.78F - 0.5334F^2 + 478.19
 \end{cases} \quad (13)$$

Промежуточные значения с достаточной степенью точности определяются линейной интерполяцией.

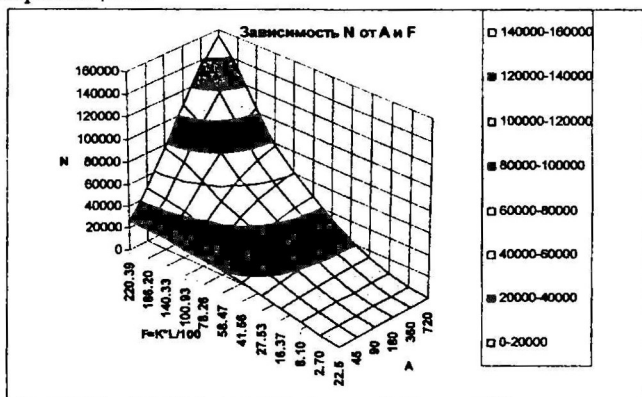


Рис. 14. Зависимость усилия в настиле от параметров F и A

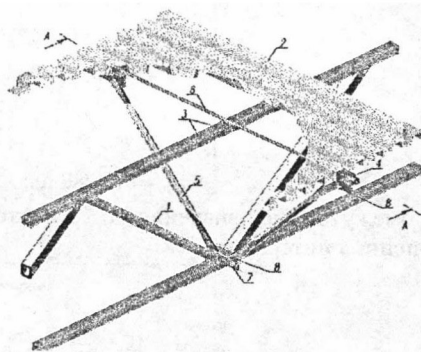
Т.к. подстропильные фермы параллельны гофрам настила и находятся над рядами колонн, то распределение усилий между верхним поясом фермы и настилом тоже стало предметом исследований, в ходе которых установлены зависимости соотношения усилия в элементе фермы N_f к усилию в ригеле N_s от соотношения площади настила A_d к площади ригеля A_s . С увеличением соотношения A_d/A_s , т.е. увеличением доли площади настила в общей площади ригеля доля усилия воспринимаемая элементом фермы N_f в общем усилии N_s , уменьшается нелинейно, а описывается квадратичной зависимостью:

$$\frac{N_f}{N_s} = 1 - 0.4942 \frac{A_d}{A_s} - 0.4752 \left(\frac{A_d}{A_s} \right)^2. \quad (14)$$

В четвертой главе рассматриваются новые конструктивные решения и способы повышения пространственной жесткости исследуемых зданий. Например, мероприятия по обеспечению вертикального положения ферм из ГСП и уменьшению расчетной длины колонн. Повышение боковой устойчивости ферм обеспечивается путем увеличения жесткости узла сопряжения верхнего пояса фермы и профилированного настила. Это может быть достигнуто как изменением характера установки элементов крепления (в шахматном порядке или в два ряда), так и установкой дополнительных силовых шайб между головкой винта и настилом. При расчете отработанных моделей в программных комплексах были получены следующие сравнительные данные жесткости сопряжения верхнего пояса фермы и настила (рис. 15а).



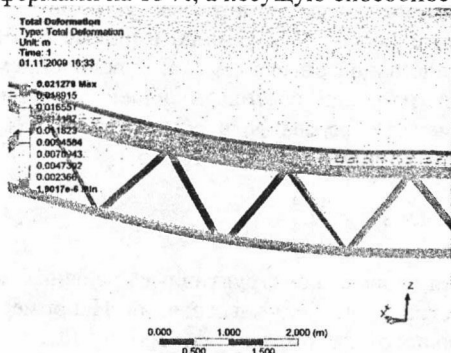
а)



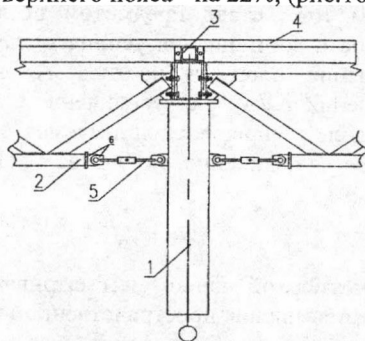
б)

Рис.15. Мероприятия по обеспечению устойчивости из плоскости ферм из ГСП
а)сравнение вариантов крепления настила; б) раскосная система при недостаточной жесткости узла сочленения настила и пояса фермы.

Из этих диаграмм следует, что способ установки элементов крепления в два ряда увеличивает жесткость узла сопряжения в 3,2 раза, соответственно, в шахматном порядке - в 2,1 раза, а установка шайб - в 1,3 раза. Если в ходе расчета, указанного выше, выясняется, что жесткости узла недостаточно и вертикальность положения фермы не обеспечивается, то следует применить установку раскосной системы, защищенной патентом РФ (рис.15б). Другим способом повышения пространственной жесткости является дополнительное увеличение сдвиговой жесткости настила путем укладки по его верхним поясам усиливающих элементов. Такое решение повышает сдвиговую жесткость участка настила между соседними фермами на 18 %, а несущую способность верхнего пояса - на 22%, (рис.16 а).



а)



б)

Рис.16. Мероприятия по повышению пространственной жесткости
а) повышение сдвиговой жесткости покрытия и несущей способности фермы;
б) сокращение расчетной длины колонны

1-колонна, 2-подстропильная ферма, 3-стропильная ферма, 4-профилированный настил, 4-гибкие связи с устройством натяжения.

Поскольку в многопролетных легких зданиях согласно действующим нормам коэффициент приведения расчетной длины колонны составляет $\mu=2$, то целесообразны мероприятия по уменьшению их расчетной длины. Они заключаются в установке гибких предварительно напряженных связей между нижними поясами подстропильных ферм и колоннами (рис.166). При этом установка гибких связей может быть выполнена не на каждой колонне, а лишь в центральной части здания, которая будет являться ядром жесткости, благодаря этому расчетная длина всех остальных колонн здания в плоскости, где установлены гибкие связи, будет уменьшена. На данный способ сокращения расчетной длины колонн выдан патент РФ. Также разработан способ крепления профилированного настила к несущим конструкциям, защищенный патентом РФ, необходимый для компенсации усилия от перепада температур над рядами колонн, где несущая способность креплений профнастила недостаточна.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Произведена оценка зарубежных и отечественных методик расчета и подходов к обеспечению пространственной жесткости многопролетных легких зданий, и показано, что ключевую роль в этом вопросе играет сдвиговая жесткость диска покрытия, образованного стальным профилированным настилом.
2. Численно и экспериментально определены расчетные редуцированные геометрические характеристики и сдвиговая жесткость панели эталона размерами 6х6 м, из нового типа профилированного настила Н153-840 толщиной от 0,8 до 1,5мм из стали по ГОСТ52246-2004.
3. Получены численные данные по деформативности стального каркаса многопролетного легкого здания, с учетом изгибной жесткости колонн, защемленных в фундаменте в обоих направлениях, при различном соотношении длины здания к его ширине и с учетом диска жесткости в покрытии из настила с высотой гофр 153мм.
4. Исследована жесткость сопряжения верхнего пояса стропильных ферм и профилированного настила с высотой гофры 153мм, и предложена методика ее оценки, позволяющая определить необходимость установки вертикальных связей по фермам и распорок по их нижним поясам.
5. Исследования сдвиговой жесткости профилированных настилов отечественного сортамента, а также нового типа настила с высотой гофр 153 мм показали, что она увеличивается в 1,8, 2,5 и 3,6 раза, при двух-, трех- и четырехпролетных схемах опирания, соответственно.
6. Предложена методика по оценке влияния перепада температур в многопролетных зданиях, протяженных в обоих направлениях, на прочность элементов крепления профилированного настила к несущим конструкциям и новое конструктивное решение, позволяющее при необходимости компенсировать усилия от перепада температур на эти крепления.
7. Исследованы пути и предложены решения по включению профилированного настила в совместную работу с верхним поясом стропильных ферм, что позволяет увеличить его несущую способность на

10-
22%, а сдвиговую жесткость диафрагмы из профилированного настила - на 18%.

8. Предложено новое конструктивное решение, позволяющее за счет соединения нижних поясов ферм и колонн гибкими элементами повысить жесткость каркаса в продольном и поперечном направлениях и сократить расчетную длину колонн на 30%.

Основное содержание работы опубликовано в 10 работах, из которых [1] в журналах, включённых в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендуемых ВАК:

1. Гимранов Л.Р. Исследование жесткости узла опирания профилированного настила на верхний пояс ферм из ГСП. // Известия КазГАСУ.- Казань, 2009. - №1 - С. 79-82.
2. Исаев А.В., Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р. Вопросы обеспечения пространственной жесткости легких многопролетных зданий. // Проблемы строительного комплекса России том. 1: Материалы 10-ой международной научно-технической конференции.- Уфа, 2006.- С.128-129.
3. Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р. Численное определение сдвиговой жесткости профилированного настила высотой гофры 153 мм. // Материалы Республиканской научной конференции: Сб. научных трудов докторантов и аспирантов.- Казань, 2007. - С. 41-43.
4. Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р. Исследование несущей способности профилированного настила с высотой гофры 153 мм. // Эффективные строительные конструкции: Теория и практика.- Пенза, 2008. - С. 42-44.
5. Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р. Численные и экспериментальные исследования несущей способности и сдвиговой жесткости стального профилированного настила с высотой гофры 153 мм. // Сб. научных докторантов и аспирантов.- Казань, 2008.-С.13-15.
6. Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р. Уменьшение расчетной длины колонн многопролетных зданий из легких металлических конструкций. // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: Межвузовский сб. научных статей.- Йошкар-Ола, 2009.- С. 46-49.
7. Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р. Уменьшение расчетной длины колонн многопролетных зданий из легких металлических конструкций. // Молодые исследователи – регионам: Материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов том.1 - Вологда, 2009. - С. 230-232.
8. Патент РФ № 2301307RU МПК E04D 3/36 Покрытие/ Кузнецов И.Л., Хисамов Р.И., Гимранов Л.Р., «Бюллетень» №17 от.20.06.2007.
9. Патент РФ №2303110 RU МПК E04D3/36 Узел крепления профилированного настила к несущим конструкциям/ Кузнецов И.Л., Исаев А.В., Гимранов Л.Р., «Бюллетень» №20 от.20.07.2007.
10. Патент РФ № 2387759RU МПК E04B 1/24 Каркас многопролетного здания/ Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р., «Бюллетень» №12 от.27.04.2010.

Корректura автора

Подписано в печать 20.09.10.

Формат 60x84/16

Заказ № 581.

Печать RISO

Тираж 100 экз.

ПМО КазГАСУ, 420043, Казань, ул. Зеленая, 1