

2. Драган А.В. Исследование совместной работы ненапрягаемой арматуры серповидного профиля с бетоном при статическом нагружении // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь. Сборник статей XIV Международного научно-практического семинара – том 2 – Минск, 2006 – с.122-128.
3. Иващенко Ю.А., Оатул А.А. Методика исследования ползучести сцепления арматуры с бетоном // Сборник научных трудов челябинского политехнического института. Железобетонные конструкции. Выпуск III. – Челябинск, 1963 – с.65-73.
4. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. – М.: Стойиздат, 1974. – 232 с.
5. СНБ 5.03.01-02 «Конструкции бетонные и железобетонные». – Мн.: Стройтехнорм, 2002 г. – 274с.
6. Терин В.Д., Хотько А.А. Анкерующая способность арматуры различных профилей // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений. Сборник научных трудов инженерно-строительного факультета полоцкого государственного университета. – вып. I – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – с.344 – 350.
7. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. – М.: Стройиздат, 1981. – 184с.
8. Albin Kenel, Peter Marti. Faseroptische Dehnungsmessungen an einbetonierten Bewehrungstäben. – Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2001. – 97s.
9. Charles. K. Kankam. Relationship of Bond Stress, Steel Stress, and Slip in Reinforced Concrete // Journal of Structural Engineering. – 1997. – V.123 – p.79-85.
10. Manuel Alvarez. Einfluss des Verbundverhaltens auf das Verformungsvermögen von Stahlbeton. – Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1998. – 189s.
11. Marcus Schenkel. Zum Verbundverhalten von Bewehrung bei kleiner Betondeckung. – Institut für Baustatik und Konstruktion, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 1998. – 167s.
12. RILEM/CEB/FIP Recommendation on reinforcement steel for reinforced concrete. RC6. Bond test for reinforcement steel. 2. Pull-out test. 1983.
13. Tomaž Ulaga. Betonbauteile mit Stab- und Lamellenbewehrung: Verbund- und Zuggliedmodellierung.: Abhandlung zur Erlangung des Titels Doktor der Technischen Wissenschaften. – Zürich, 2003. – 169s.

Статья поступила в редакцию 17.01.07

УДК 624.014.001.24 (476.7)

Драган В.И., Люстибер В.В.

НАТУРНОЕ ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ЛЕДОВОЙ АРЕНЫ В Г. ПРУЖАНЫ

Введение

Испытание металлической структурной плиты покрытия ледовой арены в г. Пружаны проведено с целью:

- определения реальной работы и возможности нормальной эксплуатации конструкций покрытия;
- выявления действительного напряженно – деформированного состояния элементов покрытия под нагрузкой, определения запасов несущей способности при нагружении полной нормативной нагрузкой;
- проверки качества монтажа структурной плиты покрытия.

1. Конструктивные решения покрытия ледовой арены в г. Пружаны

Несущая конструкция покрытия ледовой арены на 800 мест в г. Пружаны представляет собой металлическую простран-

ственную перекрёстно-стержневую конструкцию, выполненную в виде предварительно напряжённой прямоугольной плиты, ломаной в середине меньшего пролёта. Регулярная пространственная конструкция образована двумя прямоугольными плитами, соединёнными в коньке и создающими два ската с уклонами 8°. Структурная плита опирается по контуру крайними узлами нижнего пояса на сталежелезобетонные колонны, расположенные с шагом 6 м и 3 м и образующие в плане прямоугольник с размерами сторон 39 м и 63 м.

В связи с необходимостью восприятия реакции распора, в уровне опорных узлов нижнего пояса плиты устанавливаются затяжки с шагом 3м в направлении параллельном меньшему пролёту. Затяжки располагаются с пятого узла нижней поясной сетки структуры при начале отсчёта в торцах плиты.

Структурная плита образована пересечением двух наклонных плоских ферм, и может рассматриваться как кон-

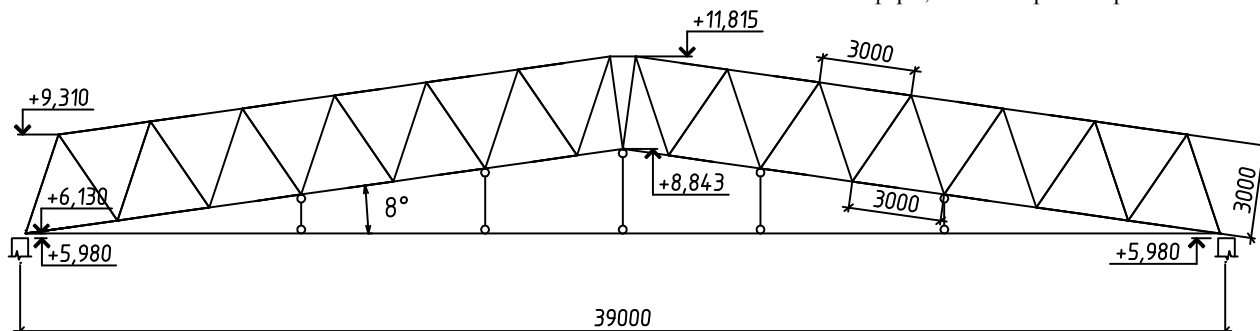


Рис. 1. Поперечный разрез структурной плиты покрытия ледовой арены в г. Пружаны

Драган Вячеслав Игнатьевич, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, первый проректор Брестского государственного технического университета.

Люстибер Вадим Викторович, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

струкция, состоящая из многократно повторяющихся стержневых пирамид с квадратным основанием. Ячейки поясов плиты имеют размер 3×3 м, высота плиты в осях 3 м (рис. 1).

Стержни структуры собираются в пространственную конструкцию с помощью узлового элемента системы «БрГТУ». Данный узловой элемент в законченном изготовленном виде представляет собой полый шар с отверстиями в стенке, в которые установлены крепежные высокопрочные болты с возможностью вкручивания в специальные гайки стержней (рис. 2).



Рис. 2. Узловой и стержневой элемент системы «БрГТУ»

Шар изготавливается из двух полушфер, полученных путем горячего прессования из листового проката. Толщина листа определяется величиной максимального усилия, воспринимаемого узлом. В полушферах сверлятся отверстия необходимого диаметра под болты. Диаметр отверстия назначается на 1,0 мм больше диаметра болта, что обеспечивает свободную сборку узлов структуры. На каждый болт надевается внутренняя и наружная шайба, а также закручиваются две гайки: силовая гайка и контргайка (рис. 3).

Полусферы свариваются стыковым швом с разделкой кромок полуавтоматической или автоматической сваркой в

среде углекислого газа. Шайбы устанавливаются между головками болтов и внутренней поверхностью шара, а также между силовыми гайками и наружной поверхностью шара. Поверхности каждой шайбы, примыкающей к шаровой поверхности, имеют сферическую поверхность с радиусом, равным внутреннему и наружному радиусу шара соответственно для внутренней и наружной шайбы. Шайбы со сферической поверхностью обеспечивают центровку стержней на центр узла при закручивании силовой гайки. Кроме того, толщина и диаметр шайбы существенно влияют на несущую способность узла. Для их сопряжения с болтами узлового элемента в торцы труб устанавливаются и привариваются по контуру круглые гайки с резьбовыми отверстиями. Вращение болтов при сборке производится посредством поворота застопоренных силовой гайки и контргайки.

Усилие сжатия воспринимается узловым элементом в следующей последовательности. Усилие с болта передается через резьбу на силовую гайку, а с нее на наружную шайбу с вогнутой поверхностью, плотно прилегающей к стенке шара. Усилие растяжения передается непосредственно с болта на внутреннюю шайбу, и далее через выпуклую поверхность шайбы на стенку шара.

Диаметр шара, толщина стенки шара, диаметр болтов и класс прочности болтов назначается исходя из величины усилий, действующих в стержнях, используя принцип равнопрочности всех элементов рассматриваемого узла структуры. Для сборки покрытия ледовой арены запроектированы две марки узловых элементов системы «БрГТУ»:

1. Узловой элемент с полым шаром с толщиной стенки 10 мм и наружным диаметром $D_{нар} = 160$ мм. Максимальное усилие, допускаемое на узел, равняется 250 кН.

2. Узловой элемент с полым шаром с толщиной стенки 16 мм и наружным диаметром $D_{нар} = 212$ мм. Максимальное усилие, допускаемое на узел, равняется 520 кН.

При изготовлении узловых элементов применялись болты диаметром 20 мм и 24 мм класса прочности 12.9 из стали марки 40X и высокопрочные болты диаметром 30 мм из стали марки 40X"Селект". В качестве силовых гаек использовались высокопрочные гайки из стали марки 40X"Селект". Полый шар, а также наружные и внутренние шайбы изготавливались из стали марки 09Г2С (С345).

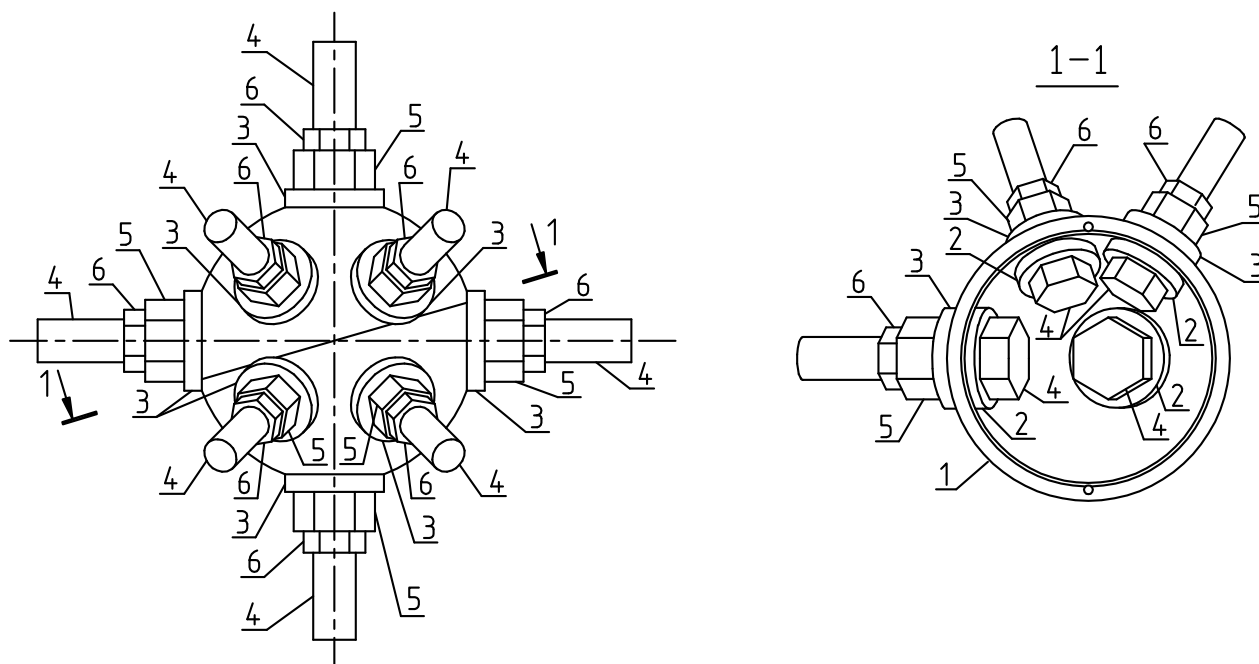


Рис. 3. Узловой элемент системы «БрГТУ»: 1 – полушфера; 2 – внутренняя шайба с выпуклой поверхностью; 3 – наружная шайба с вогнутой поверхностью; 4 – болт; 5 – силовая гайка; 6 – контргайка

Стержневые элементы изготовлены из круглых труб сечением $\varnothing 127 \times 8$ мм, $\varnothing 89 \times 5$ мм, $\varnothing 83 \times 4$ мм (сталь марки ст.20). Для их сопряжения с болтами узлового элемента в торцы труб устанавливаются и привариваются по контуру круглые гайки с резьбовыми отверстиями. Высота гаек 25 мм под болты диаметром 20 мм и 24 мм, высота гаек 35 мм – под болты диаметром 30 мм. Материал гаек – сталь марки 09Г2С (С345).

Для опирания структурной плиты разработано два типа опорных узлов. Один из них представляет собой рядовой узловой элемент. Шар с наружным диаметром $D_{нар} = 160$ мм приподнят над оголовком колонны и опирается на четыре опорных ребра толщиной 14 мм. Ребра привариваются сваркой к плите оголовка колонны и к самому шару (рис. 4).



Рис. 4. Узел опирания структуры на колонну (тип 1)



Рис. 5. Узел опирания структуры на колонну (тип 2)

Второй опорный узел – узел, в котором крепится напрягающая затяжка (рис. 5). Данный узел представляет собой составную конструкцию и включает в себя следующие элементы:

- опорный узловой элемент, собранный с помощью сварки из листовых деталей толщиной 16 мм, 20 мм и 30 мм;
- крайний опорный стержневой элемент нижней поясной сетки структуры, состоящий из двух швеллеров №18, половины типового стержневого элемента из трубы $\varnothing 127 \times 8$, переходной плиты и планок;
- напрягающий болт с трапецидальной резьбой, вкрученный в специальную гайку, сваренную в торец затяжки.

Узел опирается на плиту оголовка колонны опорным ребром толщиной 30 мм и имеет свободу перемещения в направ-

лении вдоль затяжки, выполненной из трубы $\varnothing 127 \times 8$. Отправочные марки затяжки, установленные в проектное положение, соединялись между собой сварным стыковым швом на подкладке. Каждая затяжка крепится к нижним узлам структуры с помощью пяти подвесок из круглой стали $\varnothing 22$ мм.

Опирающие прогоны на структурную плиту выполнено с помощью круглой шайбы, которая устанавливается между шаром и прогоном и приваривается к ним (рис. 6). Данное решение принято для узлового элемента с толщиной стенки 16 мм. Для второй марки узлового элемента (толщина стенки 10 мм) вместо шайбы используется опорный столик (рис. 7).

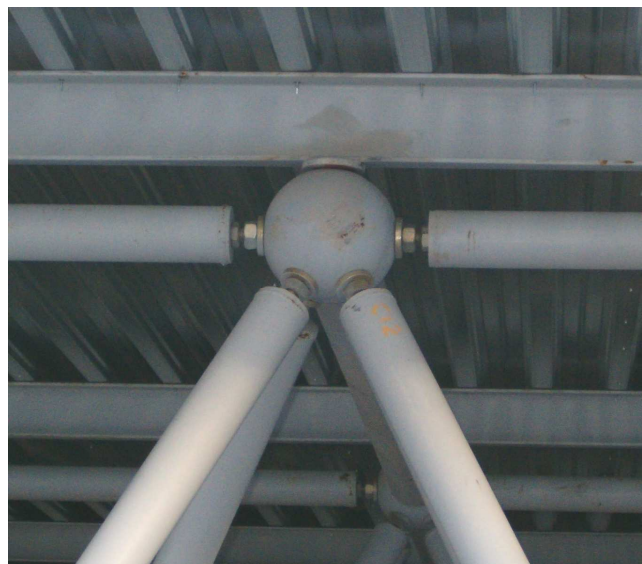


Рис. 6. Опирающие прогоны на узел структуры с помощью подкладной шайбы

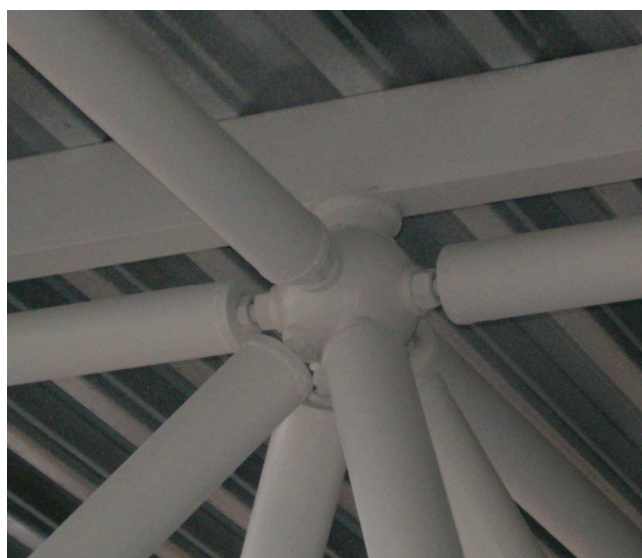


Рис. 7. Опирающие прогоны на узел структуры с помощью опорного столика

2. Монтаж структурной плиты

Монтаж структурной плиты выполнялся последовательно на двух захватках полосами шириной, равной размеру ячейки от центра к торцам покрытия. Сборка перекрестно-стержневой конструкции производилась на сплошном настиле, устроенном по строительным лесам и имеющему отметку на 300 мм меньшую, чем низ монтируемой конструкции. На проектную отметку структурная плита выводилась с помощью деревянных подкладок, укладываемых под нижние узлы структуры. После того, как вся структурная плита была



Рис. 8. Загрузка покрытия испытательной нагрузкой

Таблица 1. Теоретические и экспериментальные усилия в стержнях верхнего пояса структурной плиты

Номер индикатора на верхнем поясе	Сечение	A, см ²	Δl, мм	База тензометра, мм	Усилие, кН		Разница, %
					Теоретическое	Экспериментальное	
1	тр.127x8	29.91	-0.051	277	-150.8	-113.4	24.80
2	тр.127x8	29.91	-0.049	273	-156	-110.6	29.10
3	тр.127x8	29.91	-0.036	270	-150.4	-82.2	45.35
4	тр.127x8	29.91	-0.031	276	-135.1	-69.2	48.78
5	тр.127x8	29.91	-0.038	270	-135.5	-86.7	36.01
6	тр.127x8	29.91	-0.033	272	-139.6	-74.8	46.42
7	тр.127x8	29.91	-0.044	273	-132.8	-99.3	25.23
8	тр.127x8	29.91	-0.03	270	-142.8	-68.5	52.03
9	тр.127x8	29.91	-0.042	271	-148.4	-95.5	35.65
10	тр.127x8	29.91	-0.041	275	-154.8	-91.9	40.63
11	тр.127x8	29.91	-0.044	270	-150.4	-100.4	33.24

собрана, производилось натяжение затяжек с использованием динамометрического ключа с контролируемым крутящим моментом. Динамометрический ключ предварительно тарировался. По полученным результатам было установлено, что приложение к напрягающему болту крутящего момента величиной 1050 Н·м вызывает в затяжке усилие, равное 25 кН. Выполненное предварительное напряжение позволило включить в работу все элементы структурной плиты и затяжки еще до начала работы конструкции под нагрузкой от собственного веса. Поэтому при дальнейшем нагружении все элементы покрытия должны включаться в работу одновременно, что исключает перегрузку единичных элементов и увеличивает надежность конструкции. Кроме того, вышеизложенные предпосылки позволяют сделать предположение о более точном соответствии в работе реальной конструкции и ее расчетной модели. После натяжения всех затяжек производился монтаж прогонов и профнастила. Завершающей стадией монтажа структурной плиты являлось снятие структуры с деревянного настила, чем обеспечивалось ее рабочее положение.

3. Методика проведения испытаний

Нагружение покрытия испытательной нагрузкой производилось после полной сборки структурной плиты, натяжения

затяжек, монтажа прогонов и профнастила и снятия пространственной конструкции с временных опор. Величина испытательной нагрузки определялась весом кровли, включающим: вес пароизоляции, вес утеплителя, вес гидроизоляционного ковра, вес нормативного снегового покрова, и составила 101,5 кг/м² (узловая нагрузка составила 913,5 кг).

В зоне действия монтажных кранов нагружение осуществлялось бетонными блоками ФБС, в соответствии со схемой загрузки, которые укладывались на настил из досок, установленный на профилированный настил покрытия. Испытательная узловая нагрузка от веса блоков и деревянных щитов составила 995 кг. На участках структуры, недоступных для монтажных кранов, нагружение осуществлялось пакетами кровельного утеплителя, укладываемого на настил из досок, полосами шириной 1,5 м и высотой 1,5 м. Узловая нагрузка от веса утеплителя и деревянного настила составила 1067,5 кг.

Усилия в стержнях структурной плиты покрытия и затяжки измерялись при помощи тензометров с использованием индикаторов часового типа с ценой деления 0.001 мм. Для того, чтобы исключить влияние случайных факторов и повысить надежность получаемых результатов, выполнялось дублирование размещения индикаторов.

Таблица 2. Теоретические и экспериментальные усилия в стержнях нижнего пояса структурной плиты

Номер индикатора на нижнем поясе	Сечение	A, см ²	Δl, мм	База тензметра, мм	Усилие, кН		Разница, %
					Теоретическое	Экспериментальное	
1	тр.127x8	29.91	-0.035	276	-109.3	-78.1	28.55
2	тр.127x8	29.91	-0.036	275	-91.2	-80.7	11.51
3	тр.127x8	29.91	-0.021	272	-59.3	-47.6	19.73
4	тр.127x8	29.91	-0.025	277	-110.2	-55.6	49.55
5	тр.127x8	29.91	-0.01	273	-92.3	-22.6	75.51
6	тр.127x8	29.91	-0.017	276	-61	-38	37.70
7	тр.89x5	13.2	0.009	275	35.4	8.9	74.86

Таблица 3. Теоретические и экспериментальные усилия в раскосах структурной плиты

Номер индикатора на раскосе	Сечение	A, см ²	Δl, мм	База тензметра, мм	Усилие, кН		Разница, %
					Теоретическое	Экспериментальное	
1	тр.127x8	29.91	-0.007	270	-75.6	-16	78.84
2	тр.127x8	29.91	-0.026	266	-54.7	-60.2	-10.05
3	тр.127x8	29.91	-0.015	277	-77.1	-33.4	56.68
4	тр.127x8	29.91	-0.013	275	-73.2	-29.1	60.25
5	тр.127x8	13.2	-0.011	277	-47.6	-10.8	77.31
6	тр.127x8	29.91	-0.035	273	-73.6	-79	-7.34

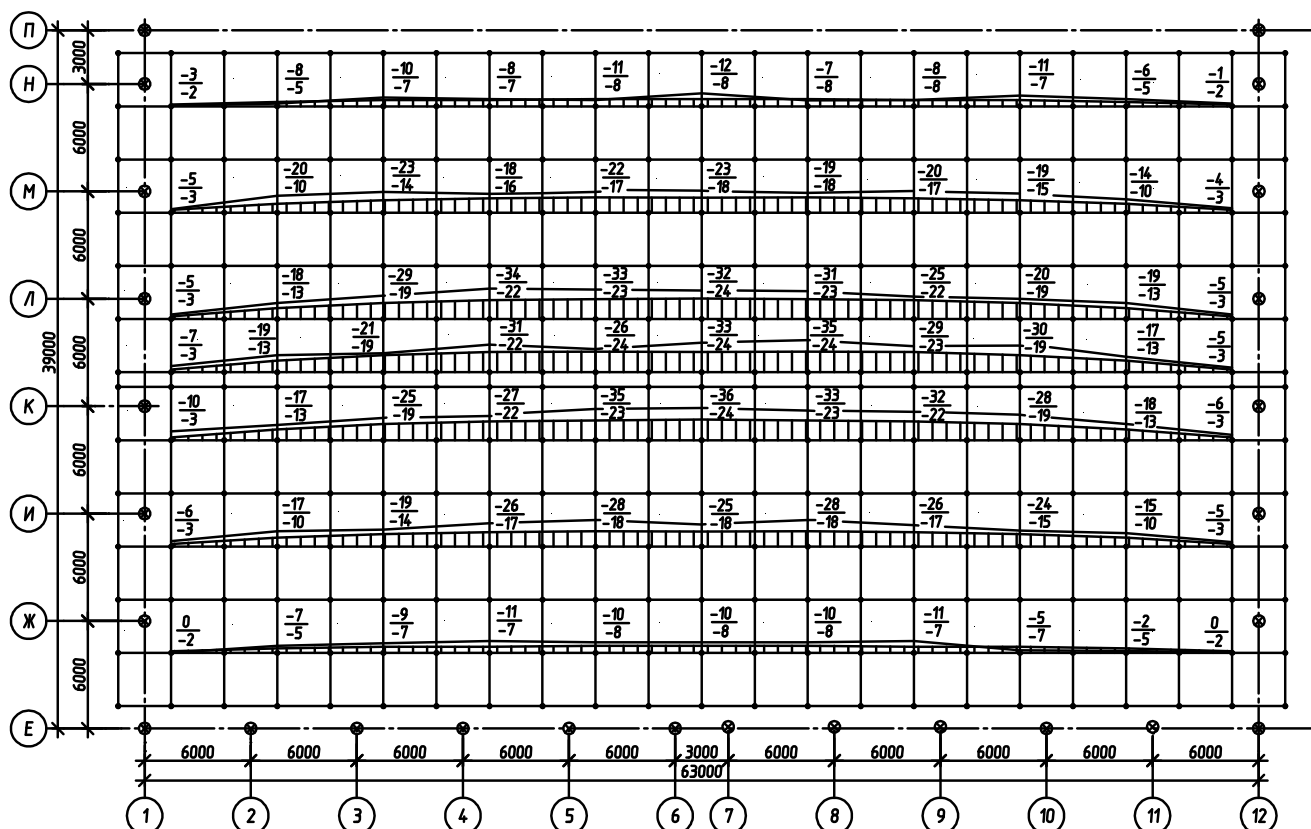


Рис. 9. Эпюры прогибов верхней поясной сетки структурной плиты: – значение над чертой соответствует величине экспериментального прогиба – значение под чертой соответствует величине теоретического прогиба

Определение вертикальных перемещений структурной плиты выполнялось путем нивелирования поверхности покрытия при помощи тахеометра электронного 3Та5Р до и после приложения испытательных нагрузок.

4. Результаты испытаний

Для оценки соответствия действительной работы конструкции расчетно-теоретическим предположениям выполня-

лась оценка напряженно-деформированного состояния предварительно напряженной структурной плиты с использованием метода конечных элементов при помощи программного комплекса “Lira Windows” версии 9.2. Стержневые элементы структурной плиты, а также колонны, затяжки и подвески моделировались универсальным пространственным конечным элементом с тремя степенями свободы в узлах. Податливость

Таблица 4. Расчетные и экспериментальные усилия в затяжках

Номер индикатора на затяжке	Сечение	А, см ²	Δl, мм	База тензометра, мм	Усилие, кН		Разница, %
					Теоретическое	Экспериментальное	
1	тр.127x8	29.91	0.038	274	120.7	85.5	29.16
2	тр.127x8	29.91	0.025	275	104.3	56	46.31
3	тр.127x8	29.91	0.031	275	122.5	69.5	43.27
4	тр.127x8	29.91	0.03	276	121	67	44.63

свободных опорных узлов в направлении вдоль затяжки моделировалась с помощью специального конечного элемента, моделирующего упругую связь между узлами. Граничные условия представлены закреплением от смещений и поворотов нижних узлов колонн.

Результаты измерений усилий после приложения испытательной нагрузки в стержнях структуры и затяжках, а также результаты, полученные для расчетной модели в программном комплексе "Lira Windows", приведены в табл. 1 – 4. Результаты натурных измерений вертикальных перемещений структуры и теоретические результаты отображены на рис. 9.

Выводы

Для всех стержней верхней и нижней поясной сетки, а также для затяжек наблюдается превышение теоретических усилий над экспериментальными в пределах 8,81% - 50,22%. Для раскосов наблюдается как превышение теоретических усилий над экспериментальными, так и наоборот. При этом разница в величине сравниваемых усилий достигает 78,17%. Различия в полученных экспериментальных и теоретических результатах объясняется податливостью узловых соединений при действительной работе конструкции, а также включением в совместную работу покрытия профнастила и прогонов, что

не учитывалось при моделировании нагружения структурной плиты с помощью ПК "Lira Windows".

Реальные деформации структурной плиты оказались больше теоретических в среднем в 1,3-1,6 раза. Кроме различий в величине прогибов наблюдается различие в очертаниях эпюр. При этом максимальные экспериментальные прогибы находятся не на оси симметрии, а смещены от нее к торцам плиты на две ячейки. Несоответствие теоретических и экспериментальных деформаций объясняется податливостью узловых соединений и погрешностью измерений.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.01.07-85. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия./Госстрой СССР – М.: ЦНИИП Госстроя СССР, 1986 – 36 с.
2. Изменения №1 к СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Приказ министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 18 июня 2004г. №166.
3. Патент на изобретение № 2489 U "Узел соединения полых стержней пространственного каркаса", авторы: Драган В.И., Левчук А.А., Шалобыта Н.Н., Пчелин В.Н., официальный бюллетень №1.–2006.02.28.

Статья поступила в редакцию 19.01.07

УДК 69.059

Черноиван В.Н., Черноиван Н.В.

К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛИТНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение

Одним из основных потребителей топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в нашей Республике является коммунально-бытовой сектор. Ежегодно потребление энергии в жилищном фонде Республики Беларусь составляет около 12 млн. тонн условного топлива, что свыше 30% общего расхода на нужды народного хозяйства Республики. Основная доля расхода топлива в жилищном фонде приходится на отопление существующих зданий [4]. В связи с этим, в энергосбережении большое значение отводится повышению теплозащиты ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий. На период с 2007 по 2015 гг. в Республике Беларусь предусмотрено выполнить тепловую модернизацию 1675 домов общей площадью 6 млн.365 тыс. м². Выполнение намеченных объемов работ планируется осуществить в основном за счет применения способа штукатурки по слою теплоизоляции: «Термошуба», «Радекс» и др.[3].

Однако в сложившейся ситуации (существенный рост цен

на энергоносители на 2007 год и запланированное ежегодное увеличение стоимости природного газа и нефти, поставляемых в Республику Беларусь из России) решить проблему тепловой модернизации эксплуатируемых зданий, ориентируясь только на утепление стен способом штукатурки по слою теплоизоляции, экономически невыгодно, ввиду следующего:

- высокой стоимости (около 30 у.е. за 1 м²);
- трудозатраты на 1 м² составляют около 5 чел.-час.;
- модернизация утепления стен в случае пересмотра нормируемой величины теплозащиты стенового ограждения в сторону увеличения - для данной системы невозможна;
- для поддержания качественных параметров воздуха в помещениях, утепленных по данному способу, необходима установка системы принудительной вентиляции [8].

Следует отметить, что в странах Западной Европы уже произошло резкое снижение (до 45%) объемов работ утепления стен способом штукатурки по слою теплоизоляции и замена их на менее материалоемкие и трудозатратные - обли-

Черноиван Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

Черноиван Николай Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.