

А.В. Калугин, В.Г. Пермяков, Я.И. Грибанов, А.А. Быков

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА

Приведен алгоритм мониторинга технического состояния несущих конструкций покрытия на примере конкретного объекта. Описаны процедуры по замеру толщины замкнутых профилей, геодезических измерений, измерений продольных деформаций. На основании результатов прямых измерений и результатов расчета дана оценка технического состояния покрытия.

Проблема контроля состояния строительных конструкций на всех этапах строительства остается приоритетной задачей многих специалистов, занимающихся проектированием, обследованием, реконструкцией, строительством зданий и сооружений. На сегодняшний день разрабатываются и применяются новые методики и технологии, помогающие оценить фактическое состояние конструкций и позволяющие определить изменения от начала строительства до ввода в эксплуатацию. Контроль состояния подразумевается на этапах проектирования, строительства и эксплуатации.

На этапе проектирования, с помощью программных комплексов, определяют наиболее опасные элементы конструкций (выход из строя которых может повлечь за собой разрушение всего сооружения или отдельных его частей, привести к его аварийному состоянию). Таким образом, заранее намечаются места установки необходимых датчиков, точек контроля геометрии, чтобы в дальнейшем определять адекватность фактической работы конструкций проектным схемам.

На этапе монтажа конструкций важно точно выверить все геометрические параметры согласно исходному проекту и в случае необходимости внести соответствующие корректировки.

На этапе эксплуатации проверяют адекватность реальной конструкции первоначальной расчетной схеме, учитывая все дефекты и недостатки, допущенные на этапе монтажа. С помощью установленных датчиков можно проверить состояние температурно-влажностных показателей внутри и снаружи помещения, напряженно-деформированное состояние несущих конструкций, а также их вертикальные и горизонтальные перемещения.

Тем самым можно определить влияние различных факторов (нагрузка, температура, коррозия и т.д.) на конструкции в целом и оценить ее адекватность расчетным схемам, предложенным проектировщиками на этапе проектирования или реконструкции.

В данной работе описывается постановка натурного эксперимента, направленная на то, чтобы оценить фактическое состояние металлоконструкций покрытия спортивного комплекса на этапе эксплуатации, с учетом допущенных отступлений от первоначального проекта на этапе монтажа и дефектов в несущих металлоконструкциях покрытия, появившихся в процессе эксплуатации.

Работы по мониторингу технического состояния несущих металлоконструкций покрытия спорткомплекса проводятся сотрудниками кафедры строительных конструкций Пермского государственного технического университета с начала 2004 г.

В ходе проведения детальных инженерных обследований металлоконструкций покрытия выявлены многочисленные отступления от проектных решений, в частности, увеличена высота блока № 2, что привело к изменению схемы снеговых отложений на покрытии блока № 1; в поясах некоторых ферм блока № 1 применена обычная углеродистая сталь марки С255 вместо низколегированной стали повышенной прочности С345 по проекту; расчетная схема подстропильной фермы не соответствует проекту и др. Кроме того, во многих замкнутых сечениях металлоконструкций покрытия зафиксировано наличие воды, которая, вероятно, попала туда в период нахождения объекта в стадии незавершенного строительства в период 1995–2002 гг. через дефекты сварных швов в узловых соединениях ферм. Зафиксировано также два случая разрушения высокопрочных болтов в монтажных стыках отправочных элементов стропильной фермы блока № 1 и в подстропильной ферме.

С учетом того, что здания спорткомплекса относятся к объектам массового пребывания людей, а также с учетом отмеченных выше отступлений от проекта и проявившихся негативных факторов, необходимо вести постоянное наблюдение за техническим состоянием металлоконструкций покрытия.

Основной задачей мониторинга является оценка работоспособности несущих металлоконструкций покрытия (рис. 1).

В качестве критериев работоспособности приняты показатели прогибов стальных стропильных ферм и подстропильной фермы в блоке № 1, а также уровень нормальных напряжений в элементах металлоконструкций в различные периоды года (при наличии и отсутствии снеговой нагрузки на кровле объекта).

Указанные критерии сравниваются с фактическими параметрами, определяемыми прямыми инструментальными измерениями.



Рис. 1. Общий вид металлоконструкций покрытия спорткомплекса

Расчетные прогибы стропильных конструкций сравниваются с вертикальными перемещениями контрольных точек стропильных конструкций покрытия, которые определяются прямыми замера их положения в течение года геодезическими методами.

Нормальные напряжения в сечениях стержней стропильных конструкций определяются математическим расчетом по результатам замеров деформаций элементов тензометрическим методом. Уровень нормальных напряжений сравнивается с расчетными показателями прочности стали металлоконструкций.

Обязательной процедурой мониторинга является визуальный осмотр конструкций и узлов покрытия, в ходе которого фиксируется общее состояние несущих элементов металлоконструкций. Детальный осмотр позволяет обнаружить новые повреждения, которые возникают в процессе эксплуатации сооружения.

Особое внимание при мониторинге обращается на контроль процессов коррозии стали, который ведется по результатам измерений толщины стенок стержней стропильных ферм и прогонов.

Толщинометрия. Для определения фактических геометрических характеристик сечений металлоконструкций и для учета коррозионных процессов, протекающих в замкнутых полостях стержней элементов, проводятся измерения толщин стенок замкнутых профилей элементов с помощью ультразвукового прибора «Взлёт-УТ».

Для более точной оценки скорости протекания коррозионных процессов внутри замкнутых сечений соблюдаются следующие условия:

1) месторасположение точек контроля выбраны таким образом, чтобы обеспечить выявление зон, в которых процессы коррозии протекают наиболее интенсивно. Специально для этого был взят под контроль нижний пояс одной из стропильных ферм, в котором точки контроля располагаются с интервалом в 1 м, начиная от ее опорной части;

2) по контуру сечения точки контроля расположены на ровной поверхности (стенка швеллера, стенка квадратной трубы, стенка двутавра);

3) после выбора местоположения, точки контроля зачищаются с помощью инструментов и наждачной бумаги до зеркального блеска металла;

4) перед проведением замеров наносится тонкий слой литола для лучшего контакта датчика с поверхностью металла и защиты последнего от возможной в дальнейшем поверхностной коррозии.

В 2006 г. контроль велся по 10 точкам, в 2007 г. количество контрольных точек было увеличено до 100, в 2008 г. общее количество контрольных точек доведено до 165, а в 2009 г. их было уже более 200.

Анализ результатов замеров позволяет сделать вывод, что в целом наблюдается динамика уменьшения толщины стенок прокатных швеллеров. Так, уменьшение толщины стенок стержней стропильных ферм, состоящих из двух спаренных швеллеров №14, составило 0,15 мм за все время наблюдения, для №12 – 0,3 мм, №16 – 0,42 мм, №10 – 0,25 мм.

Результаты работы по контролю толщины стенок замкнутых сечений являются экспериментальной базой при формировании модели процесса коррозионного разрушения стали конструкций покрытия.

Схема расположения точек контроля толщин сечений элементов ферм покрытия спортивного комплекса показана на рис. 2.

Измерение перемещений контрольных точек. Высотные отметки контрольных точек стропильных конструкций определяются посредством геодезических замеров с помощью тахеометра GPT-3007N (рис. 3). За условную отметку 0,000 в помещении спорткомплекса принят уровень чистого пола. Контрольный репер РП-1 расположен на стене между осями 3–4/Е-Ж. Отметка репера 8,807 м. Тахеометр устанавливается на отметке 0,000 в середине пролета.

Контрольные точки в блоке № 1 расположены на нижней плоскости нижних поясов стропильных металлоконструкций:

на подстропильной ферме – 13 точек в центрах узлов решетки;

на стропильных фермах – 11 точек в среднем узле пролета А-Е, 11 точек в листовых шарнирах узлов сопряжения нижнего пояса с подстропильной фермой, 11 точек в опорных узлах по оси А, по одной точке во 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-м узлах в осях 42 и 47.

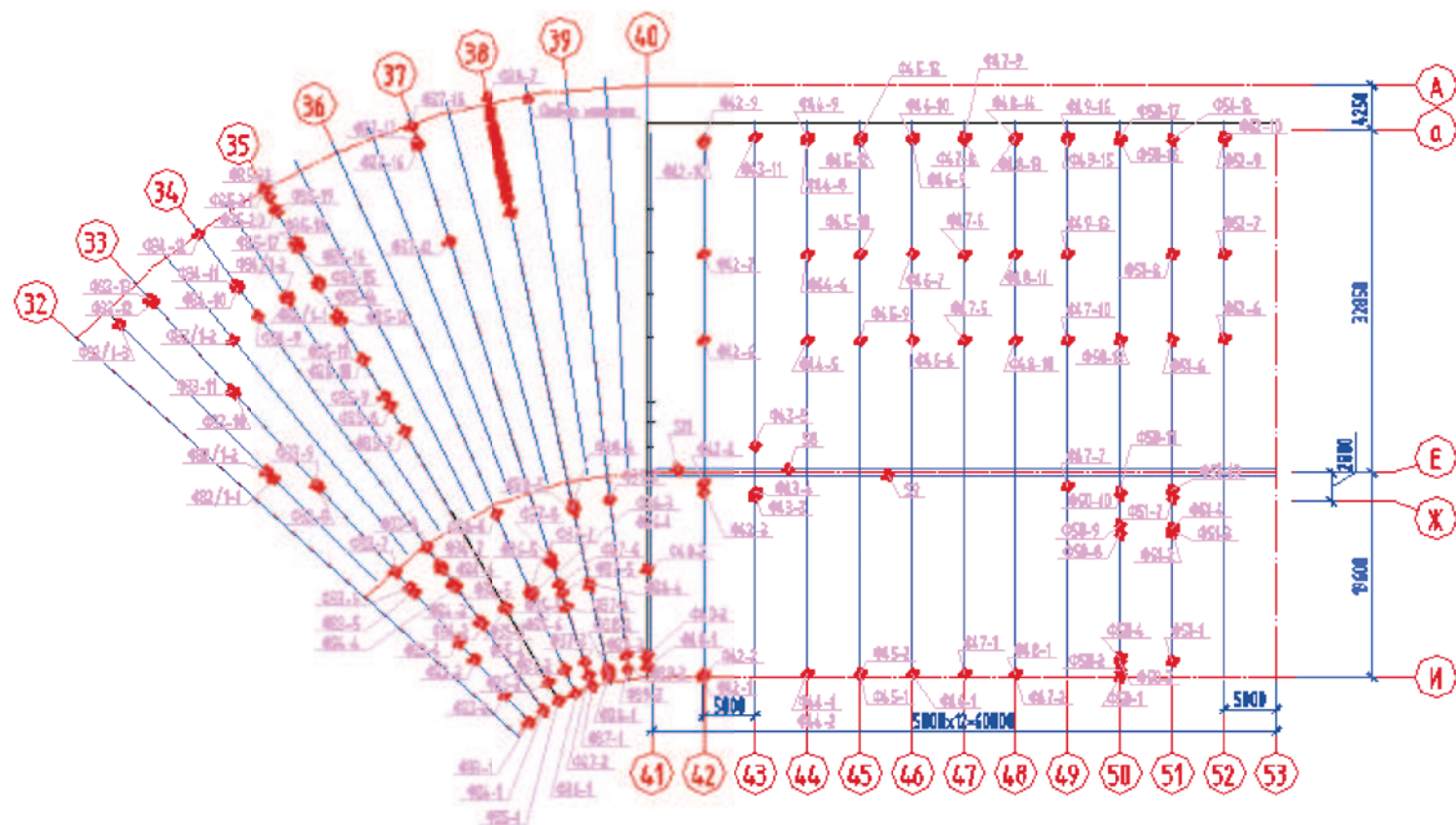


Рис. 2. Схема расположения точек контроля толщин сечений элементов ферм покрытия спортивного комплекса



Рис. 3. Геодезические замеры положения контрольных точек металлоконструкций с помощью тахеометра GPT-3007N

За условную отметку 0,000 в блоке № 2 принят уровень репера РП-2.

Контрольные точки в блоке № 2 между осями А-Е/32–35 расположены на стропильных фермах – 7 точек в среднем узле пролета А-Е, 6 точек в листовых шарнирах узлов сопряжения нижнего пояса с железобетонной балкой по оси Е, 7 точек в опорных узлах по оси А, 1 точка в третьей панели от оси Е, по одной точке во 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10-м узлах по оси 35.

Положение контрольных точек на конструкциях зафиксировано перекрестием двух прямых линий, нанесенных краской черного цвета на нижнюю плоскость фермы. Схема расположения контрольных точек вертикальных перемещений показана на рис. 4.

За исходное состояние стропильных конструкций при анализе результатов измерений высотных отметок контрольных точек принято их проектное положение. Поскольку в процессе сборки и монтажа конструкций не велось геодезического контроля их геометрии и высотного положения контрольных точек, то исходное состояние принято как предполагаемое.

Вертикальные перемещения контрольных точек стропильных ферм от предполагаемого исходного состояния недеформированных конструкций для разных блоков различны. Так, в блоке № 1 контрольные точки стропильных ферм перемещаются в среднем от 96 до 115 мм. Вертикальные перемещения опорных узлов на подстропильной ферме изменяются от 26 мм по оси 42 до 69 мм по оси 47.

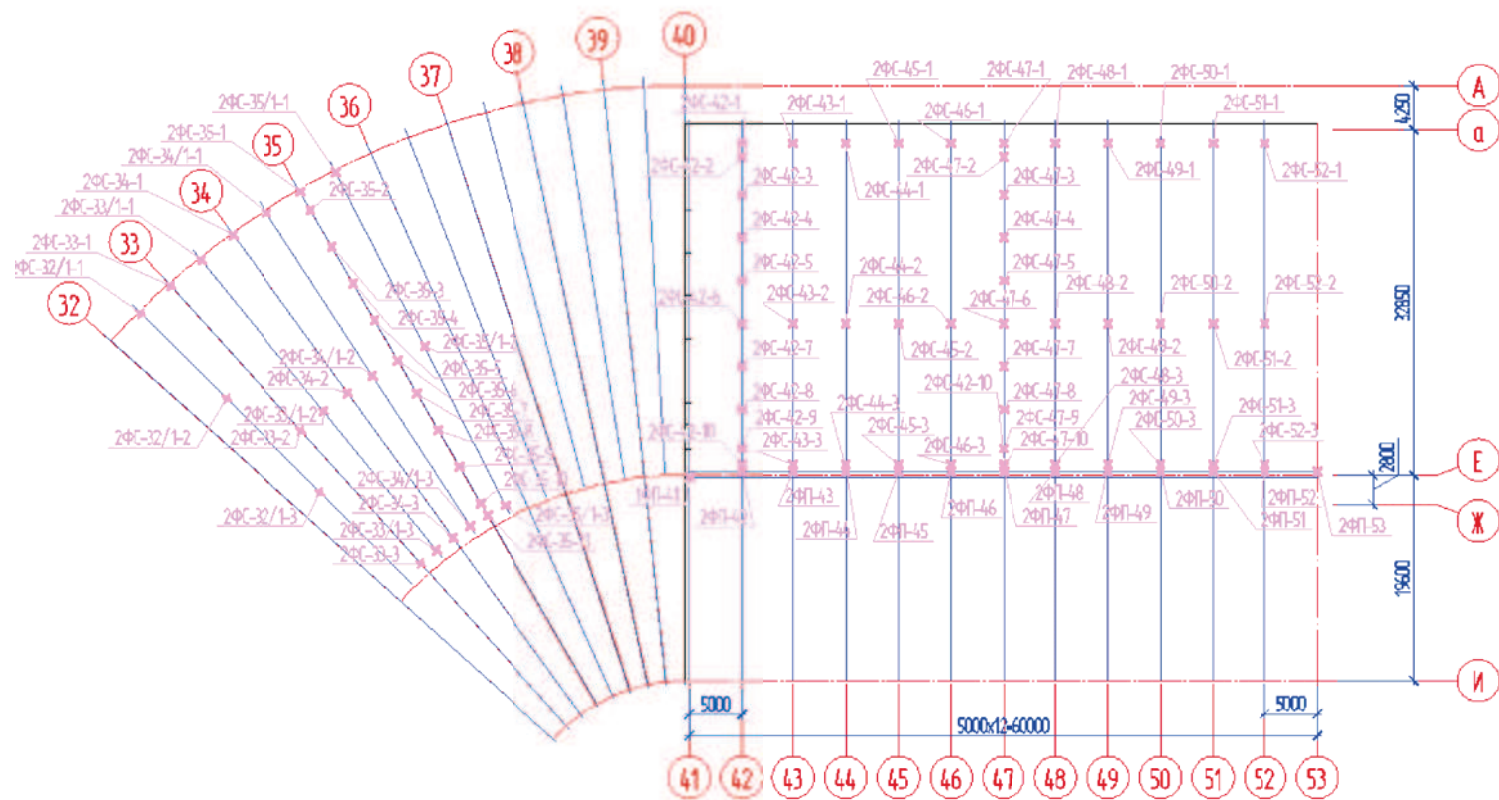


Рис. 4. Схема расположения точек контроля вертикальных перемещений стропильных конструкций покрытия спортивного комплекса

Стрела прогиба стропильных ферм, определяемая от прямой, соединяющей опорные узлы нижнего пояса на подстропильной ферме и на галерее по оси А, составляет в среднем 60 мм, что соответствует относительному прогибу стропильной фермы L/547.

В блоке № 2 перемещения контрольных точек существенно меньше и составляют от 20 до 34 мм.

Отличительной особенностью результатов геодезических измерений спорткомплекса является возможность выделения перемещений контрольных точек от действия только снеговой нагрузки и сравнения их с результатами, полученными при расчете модели покрытия от действия той же нагрузки

Измерение продольных деформаций. Инструментальные замеры деформаций стержней металлоконструкций проводятся для проверки модельных представлений о работе стержней стропильных металлоконструкций с целью внесения изменений в алгоритм проверки прочности сечений. Деформации стержней стропильных конструкций могут быть связаны как с изменением нагрузки, так и с изменением размеров поперечных сечений элементов конструкций.

Измерения проводятся с помощью фольговых тензодатчиков сопротивления и системы универсального измерителя-регистратора «Терем-4М» для двух состояний конструкций: 1) постоянная нагрузка; 2) постоянная + снеговая.

При замерах во 2-м состоянии кроме показаний приборов фиксируется высота снежного покрова и плотность снега в этот момент.

Результаты изменений заносятся в журнал наблюдений.

Целью измерения продольных деформаций стержневых элементов стропильных конструкций является получение экспериментальных данных для решения следующих задач:

- проверка адекватности расчетной модели;
- контроль уровня напряжений наиболее нагруженных стержней;
- проверка включения элементов усиления в совместную работу с усиленными конструкциями.

Для измерения относительных деформаций используется комплект тензометрического оборудования на базе прибора «Терем-4». В качестве первичных приборов измерения деформации стержней стальных ферм приняты фольговые датчики с базой 20 мм. Предварительно перед началом этой работы была отобрана партия датчиков с электрическим сопротивлением $100 \pm 0,01$ Ом и проведена тарировка одного из каналов измерения. Четыре датчика из этой партии были наклеены на балку равного сопротивления и соединены попарно в схемы измерительных мостов. При этом один датчик (активный) был наклеен вдоль продольной оси балки, а второй (компенсаци-

онный) – перпендикулярно. После приложения к консольному концу груза весом 128 кН была вычислена деформация крайних фибр поперечного сечения балки.

Для контроля правильности определения деформации в зоне расположения датчиков установили электромеханический тензомер Аистова, с помощью которого определили экспериментальное значение деформации. Полученное значение деформации поверхности балки было зафиксировано с помощью измерительного прибора «Терем-4» на измерительном канале № 2 адаптера № 1.

Рабочие датчики были наклеены в контрольных точках на стропильных фермах 2ФС-35, 2ФС-38, 2ФС-42, 2ФС-43, 2ФС-47 и на подстропильной ферме. Схема расположения датчиков деформаций стропильных конструкций покрытия спортивного комплекса показана на рис. 5.

Компенсационные датчики наклеены на стальные пластины, которые закреплены рядом с рабочими датчиками одной стороной. На этих же пластинах установлены разъемы подключения прибора к измерительному полумосту. Для наклейки тензодатчиков и стальных пластин на стержни стропильных ферм использован однокомпонентный моментальный клей на основе этилцианакрилата.

В результате измерений было выявлено, что элементы усиления включаются в совместную работу с усиленными элементами.

Замеры высоты снегового покрова кровли. Данные замеры необходимы для контроля действующей нагрузки на обследуемое покрытие, а также для оценки адекватности расчетной модели. Замеры снегового покрова производятся не реже двух раз за весь зимний период.

Высота снегового покрова определяется прямым замером в контрольных точках геодезической рейкой с ценой деления 1 мм. Точки замера высоты снега расположены по двум условным прямым линиям на верхней плоскости покрытия на скате с уклоном 10°. Одна линия замера ориентирована параллельно оси А на расстоянии 16,0 м от нее. Точки замера расположены с шагом 5,0 м в зоне «снегового мешка» и через 15,0 м на участке вне этой зоны. Другая линия ориентирована перпендикулярно оси А и расположена вблизи оси 46 блока I. Точки замера на этой линии расположены с шагом 8,0 м. На склоне 40° замеры не проводились ввиду отсутствия там снега.

Для определения удельного веса снега на участке ровном слоем покрытия намечалась площадка 500×500 мм, с которой собирался и взвешивался снег. Эта простая процедура позволяет определить плотность снега в естественном состоянии без нарушения его структуры.

Схема расположения точек замера высоты снегового покрова и участка определения удельного веса снега кровли спорткомплекса показана на рис. 6.

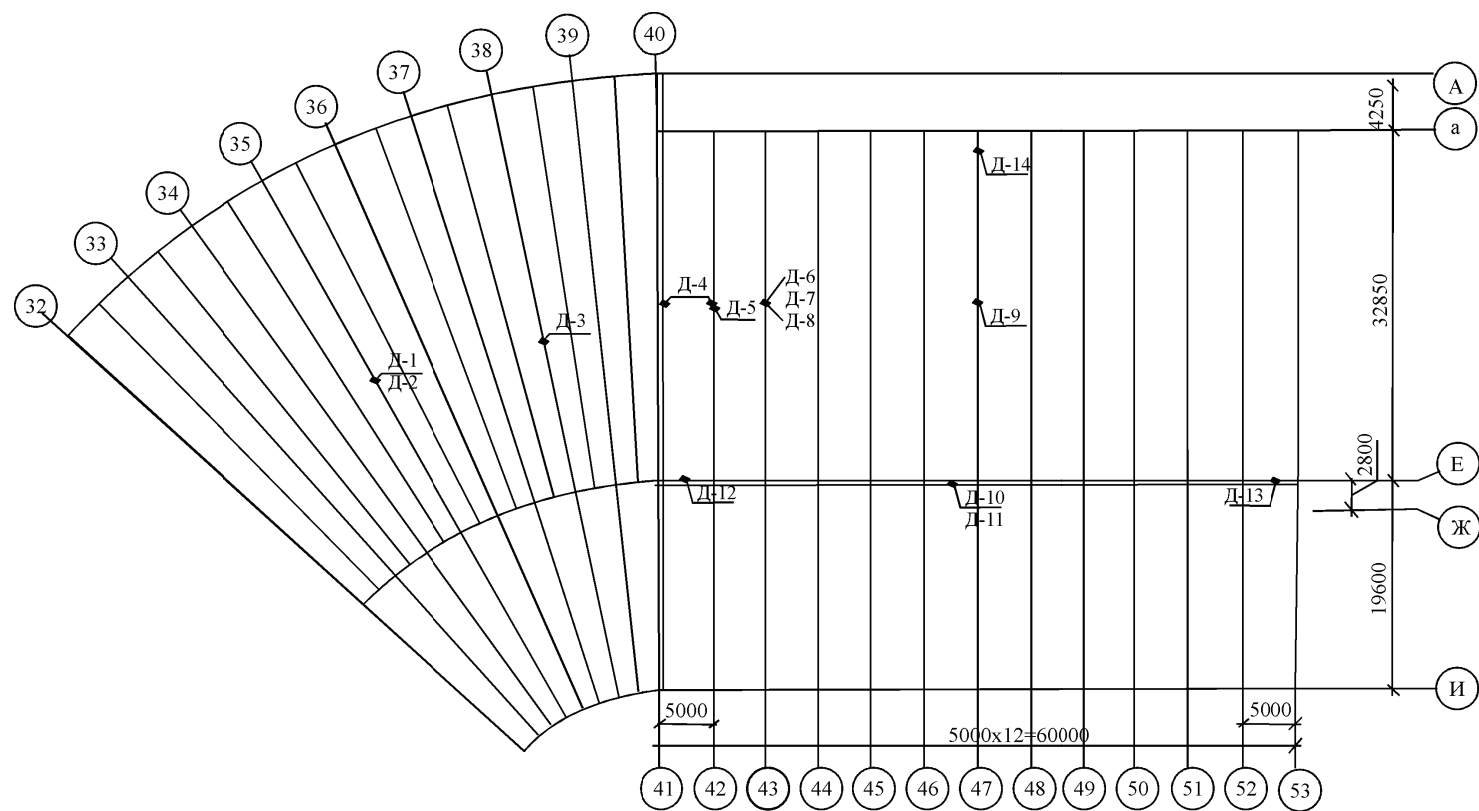


Рис. 5. Схема расположения датчиков деформаций стропильных конструкций покрытия спортивного комплекса

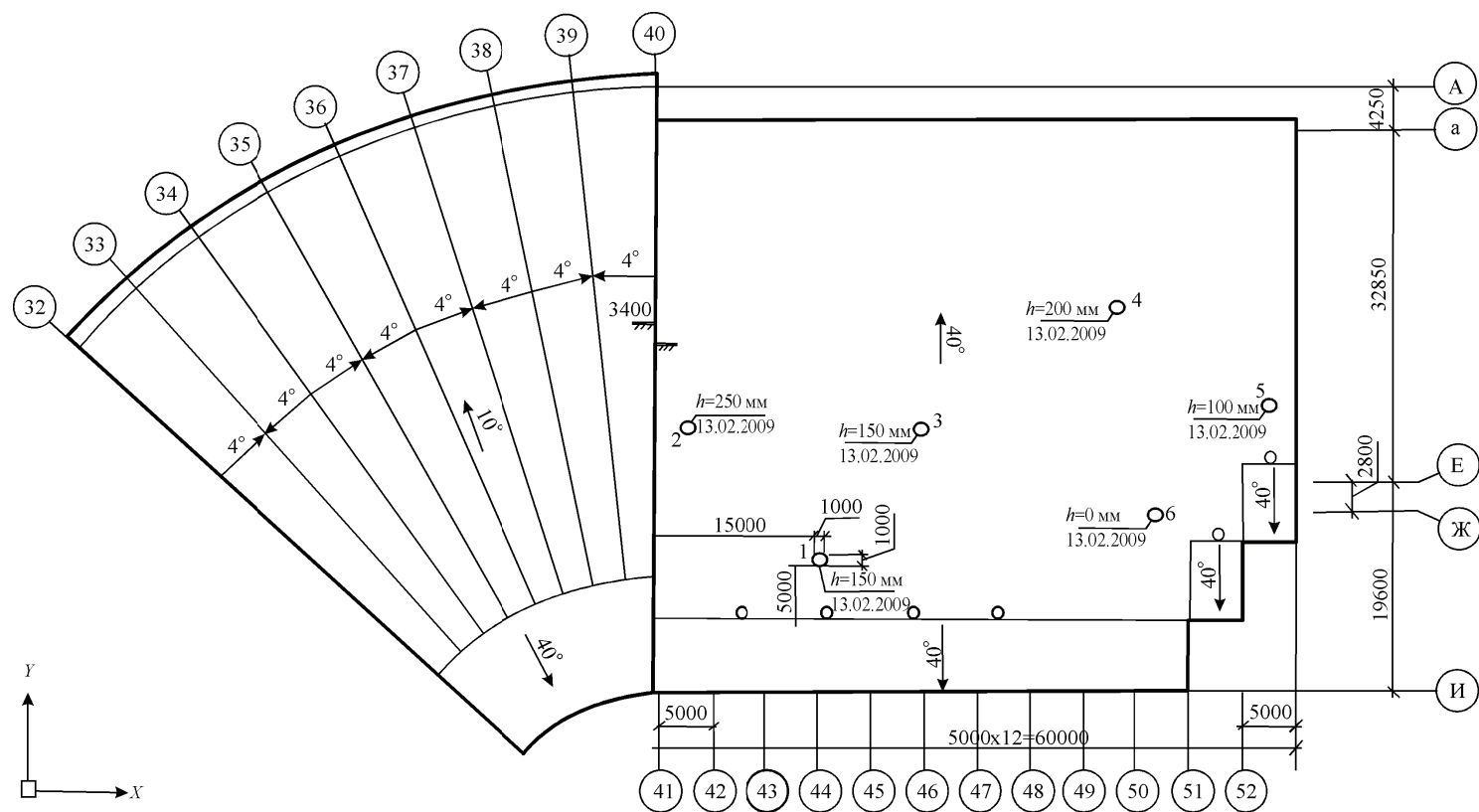


Рис. 6. Схема расположения точек замера высоты снегового покрова и участка определения плотности снега кровли спортивного комплекса

Необходимо отметить, что замеры деформаций, перемещений и высоты снегового покрова (если таковой имеется) производятся в один и тот же день, для максимально точной оценки адекватности расчетной модели и исключения возможности влияния сторонних факторов.

Выводы. За отчетный период наблюдений новых существенных дефектов и повреждений в металлоконструкциях покрытия спорткомплекса не зафиксировано.

Прогибы стропильных конструкций от действия фактических нагрузок находятся в допустимых пределах.

Результаты замеров деформаций стержней стропильных конструкций свидетельствуют о стабильной работе металлоконструкций покрытия в нормальных условиях эксплуатации от воздействия фактических нагрузок.

Результаты измерений толщин стенок замкнутых профилей металлических элементов покрытий свидетельствуют о продолжении коррозионных процессов стали на внутренних плоскостях элементов, хотя и с незначительной скоростью коррозии.

Техническое состояние в целом металлоконструкций покрытия спорткомплекса (с учетом ранее выявленных дефектов и повреждений) ограничено работоспособное.

В настоящее время несущая способность металлоконструкций покрытия спорткомплекса обеспечена. Проводимые работы по мониторингу технического состояния металлоконструкций покрытия на данном этапе позволяют своевременно принимать меры по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

Получено 30.08.2010