

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ УСТАНОВКИ СТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫЕ ОБЪЕКТЫ

© И.В. Демидов<sup>1</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье приведены характеристики зданий, при наличии которых законодательно установлена необходимость установки стационарной системы мониторинга технического состояния несущих конструкций на спортивно-зрелищные объекты. Кроме того, описывается целесообразность установки системы мониторинга с точки зрения безопасной эксплуатации объекта. Статья содержит обзор обрушений спортивных сооружений, произошедших за последние десять лет, а также их анализ. Дано предложение по оснащению подобной системой конструкций покрытия здания Ледового дворца в г. Иркутске.

*Ключевые слова:* мониторинг, строительные конструкции, уникальные здания, безопасность, напряжения,

### FEASIBILITY OF INSTALLING A STATIONARY SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF LOAD-BEARING STRUCTURES ON SPORTS AND ENTERTAINMENT FACILITIES

V. Demidov

Irkutsk National Research Technical University,  
664074, Irkutsk city, Lermontova street, 83, Russian Federation

This article gives the characteristics of buildings, in the presence of which it is legislatively established that it is necessary to install a stationary system for monitoring the technical condition of bearing structures for sports and entertainment facilities. In addition, it describes the feasibility of installing a monitoring system in terms of safe operation of the facility. The article contains an overview and analysis of the collapse of sports facilities that have occurred over the past ten years. A proposal has been made to equip the building of the Ice Palace in Irkutsk with a similar system

*Keywords:* monitoring, building construction, unique buildings, safety, stresses

Действующий в настоящее время и обязательный для исполнения ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» обязывают оснащать уникальные здания и сооружения стационарными системами мониторинга технического состояния. К уникальным зданиям, согласно этому ГОСТу относятся объекты капитального строительства, в проектной документации которого предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик:

- 1) высота более 100 м, пролеты более 100 м,
- 2) наличие консоли более 20 м,
- 3) заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки более чем на 15 м,
- 4) с пролетом более 50 м или со строительным объемом более 100 тыс. м<sup>3</sup> и с одновременным пребыванием более 500 человек.

По этой характеристике уникальными объектами можно признать здания Дворца спорта «Труд», Дворца спорта «Байкал Арена», Ледового дворца г. Иркутска, стадион «Ермак» в г. Ангарск.). Однако в градостроительном кодексе Российской Федерации (статья 48.1 п.2) последняя характеристика была исключена Федеральным законом от 28.11.2011 № 337-ФЗ, что создает некоторую двусмысленность в идентификации вышеупомянутых объектов.

Конструктивная безопасность здания или сооружения в соответствии с ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», который входит в перечень национальных стандартов, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» понимается, как комплексное свойство конструкций объекта противостоять его переходу в категорию аварийного состояния, определяемое: проектным решением и степенью его реальному воплощения при строительстве; текущим остаточным ресурсом и техническим состоянием объекта; степенью изменения объекта (старение материала, перестройки, перепланировки, пристройки, реконструкции, капитальный ремонт и т.п.) и окружающей среды как природного,

<sup>1</sup> Демидов Иван Владимирович, магистрант программы «Технология, организация и управление на предприятиях строительной отрасли», e-mail: demvan95@gmail.com  
Ivan V. Demidov, student of Master degree program "Technology, organization and management in the construction industry", e-mail: demvan95@gmail.com

так и техногенного характера. Из определения конструктивной безопасности здания или сооружения следует, что если при проектировании объекта закладывается определенная конструктивная безопасность, определяемая выбранным конструктивным решением и действующими нормативными документами по проектированию таких объектов, то при сдаче объекта в эксплуатацию имеем уже другую конструктивную безопасность объекта, определяемую тем, насколько точно и полно строительная организация реально воплотила проект. В процессе же эксплуатации объекта происходят изменения в самом объекте, например, происходит старение материала объекта, коррозия металлоконструкций и др., происходят его объемно-планировочные изменения, связанные с перестройками, пристройками, реконструкциями и др., изменяется и окружающая среда, например, могут меняться физико-механические параметры грунта основания, уровень поверхностных вод, возникать динамические воздействия и медленные движения грунта в связи с расположенным по близости новым строительством надземных и подземных сооружений. Все эти изменения ведут к изменениям конструктивной безопасности объекта, которую необходимо контролировать.

Как отечественный, так и мировой опыт указывает на то, что для большей части зданий и сооружений достаточно регулярно проводить обследование этих объектов. Однако существует ряд зданий и сооружений, для которых проводить достаточно регулярные обследования конструкций крайне сложно, трудоемко и дорого. К таким объектам, прежде всего, относятся высотные здания и крупные здания с большепролетными конструкциями.

В эксплуатируемом многофункциональном высотном здании или сооружении с большепролетными конструкциями доступ к большей части конструкций существенно ограничен, поэтому возникают определенные трудности контроля состояния этих конструкций с помощью традиционных методов визуального и инструментального обследования. Многие зоны концентрации напряжений, в которых процессы усталости и коррозии развиваются наиболее интенсивно, могут быть просто недоступны для обследования. Кроме того, в высотных зданиях существенное влияние на напряженно-деформационное состояние несущих конструкций оказывают крены и ветровые нагрузки, что создает большую рассеянность мест накопления деформационных напряжений. [1]

Федеральным законом №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» регламентирован комплекс требований, связанных с обеспечением механической безопасности зданий и сооружений на протяжении всего их жизненного цикла, который в том числе предусматривает мониторинг несущих строительных конструкций в процессе эксплуатации.

Особое значение такой мониторинг приобретает для уникальных объектов: высотных зданий и зданий с большепролетными конструкциями, характеризующихся большими строительными объемами, применением разнообразных строительных материалов, сложными расчетными схемами, что требует выявления на ранней стадии опасных изменений несущих строительных конструкций.

Основная цель разработки и применения проекта на автоматизированную систему мониторинга состоит в снижении уровня риска реального разрушения объекта в процессе строительства и последующей эксплуатации за счет обнаружения отклонений параметров строительных конструкций и узлов от расчетных значений на ранней стадии их возникновения.

Своевременный учёт всех возможных техногенных, климатических воздействий или других чрезвычайных ситуаций, возникших в ходе строительства.

Безопасность несущих конструкций спортивных сооружений связана с отсутствием недопустимого риска возникновения чрезвычайной ситуации на объекте. Риск возникновения опасной ситуации при эксплуатации спортивных сооружений связан со спецификой конструктивных решений и условиями эксплуатации данных объектов. Практически любое спортивное сооружение предполагает наличие больших пролётов и уникальных конструкций перекрытий, что в свою очередь ведёт к специфике формирования ветровых, температурных воздействий, снеговой нагрузки. Кроме того, спортивные сооружения испытывают повышенное воздействие временной (кратковременной) и динамической нагрузок (зрители). Не исключается коррозионное воздействие на конструкции отдельных сооружений для специфических видов спорта (бассейны, закрытые катки и хоккейные площадки).

Перечисленные факторы обуславливают характер разрушений конструкций спортивных сооружений при возникновении аварийных ситуаций. На рис. 1 приведён результат анализа обрушений спортивных сооружений, которые, озвучивались в средствах массовой информации (по данным портала «Наука и безопасность» [www.pnag.ru](http://www.pnag.ru)).

Как видно из рис. 1, основной аварийной ситуацией на спортивных сооружениях является обрушение покрытий. Это 48% случаев. Приведём некоторые примеры.

Город Ростравер (Rostraver), США (14.02.2010 г.)

Частичное обрушение крыши стадиона во время хоккейного матча. По счастливой случайности в момент падения фрагмента крыши размером примерно 30 на 60 м никто из зрителей и участников матча не пострадал. Стадион рассчитан на 5 тыс. чел.



Рис. 1. Результат анализа обрушений спортивных сооружений



Рис. 2 Частичное обрушение крыши стадиона в г. Ростраверт (США) г. Благовещенск (10.03.2009 г.)

Обрушение крыши спортивного комплекса «Спартак». Конструкции крыши спортивного зала рухнули за несколько минут до начала тренировок. Здание спорткомплекса «Спартак» было признано аварийным еще в августе 2008 года и теперь восстановлению не подлежит. За 40 лет капитальный ремонт в нем ни разу не проводился.

Частичное обрушение кровли ледового катка «Полюс». Никто не пострадал. Крыша сначала стала трещать, а потом медленно прогибаться. Одной минуты оказалось достаточно для эвакуации людей. Более трети крыши разорвалось на части и упало на лед. К обрушению привело образование на крыше катка толстого слоя плотного снега из-за мощного циклона. Стихия принесла на побережье края сильный снег с дождем. По данным синоптиков, выпало более двух месячных норм снега.



**Рис. 3. Обрушение крыши спортивного комплекса «Спартак», г. Благовещенск г. Владивосток (05.12.2009 г.)**



**Рис. 4. Обрушение кровли ледового катка «Полюс», г.Владивосток г.Чусовой, Пермский край (04.12.2005 г.)**

Обрушение кровли кирпичного трёхэтажного бассейна «Дельфин», построенного в 1993 г. В чашу бассейна размером 25 на 10 м упали металлические фермы и 42 бетонные плиты. Общая площадь обрушения составила более 100 кв. метров. Причинами обрушения могли стать перепад температур и обильные осадки, выпавшие накануне. Одной из версий обрушения стала усталость металла в одной из балок перекрытий бассейна. Погибли 14 человек, в том числе десять детей. [2].



**Рис. 5. Обрушение кровли кирпичного трёхэтажного бассейна «Дельфин», г. Чусовой, Пермский край**

Отказ сооружения или его части может произойти по следующим причинам:

– из-за чрезвычайно неблагоприятного сочетания воздействий, свойств материалов, геометрических размеров, и других факторов, связанных с нормальной эксплуатацией и другими обычными обстоятельствами;

– из-за последствий исключительных, но предсказуемых внешних воздействий или влияния окружающей среды, например столкновений с конструкцией или экстремальных климатических воздействий; (термин "исключительный" относится к обстоятельствам и/или воздействиям, которые присутствуют только в течение малой части срока службы и/или маловероятны. В зависимости от типа конструкции эти воздействия могут или не могут быть рассмотрены подробно в проекте.)

– из-за последствий ошибок, обусловленных нехваткой информации, бездействием, неправильным пониманием и недостатком взаимодействия, небрежностью, неправильной эксплуатацией и т.д.;

– из-за непредвиденных обстоятельств.

Ни одно сооружение не может функционировать удовлетворительно при действии исключительных воздействий или при исключительно низком сопротивлении материалов конструкций, но предполагаемый объем разрушений должен быть ограничен таким образом, чтобы он был пропорционален причине, вызвавшей повреждение. Таким образом, должны быть приняты меры, чтобы противостоять подобным событиям. Меры должны включать в себя, главным образом, один или несколько из нижеперечисленных пунктов:

а) проектирование и обслуживание сооружения в соответствии с правилами, приведенными в следующих пунктах для условий нормальной эксплуатации и при других обычных обстоятельствах;

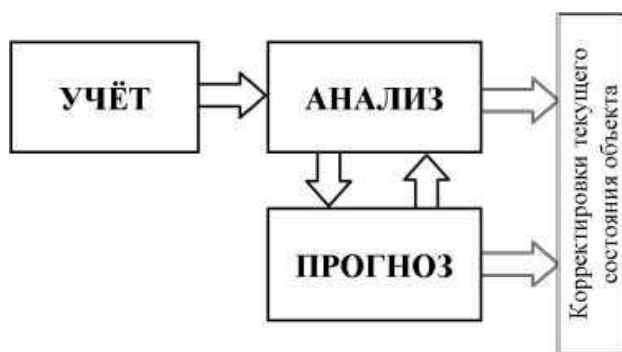
б) расчет ключевых несущих элементов конструкции на установленные исключительные воздействия, которые могут быть вызваны авариями или подобными явлениями.

В конструктивной схеме должны быть выявлены "ключевые" элементы, отказ которых приведет к разрушению большей части конструкций, расположенных вблизи рассматриваемого элемента. Если такие конструктивные элементы установлены и они могут быть исключены из конструктивной схемы, то при проектировании необходимо учитывать их значимость. [3]

**Предложение по мониторингу конструкций покрытия здания Ледового дворца.**

Для обеспечения безопасной эксплуатации спортивного сооружения необходим анализ информации в течение всего «жизненного цикла» объекта. Особо стоит уделить внимание именно периоду эксплуатации.

В то же время для предотвращения аварий на таких сооружениях необходимо иметь актуальную информацию о состоянии объекта с возможностью прогнозирования состояний при изменении внешних условий, что позволит снизить риск аварийного обрушения. Общая схема обеспечения безопасной эксплуатации техногенного объекта представлена на рис. 6. Она подразумевает три составляющие: учёт-анализ-прогноз, которые обеспечат заинтересованных лиц необходимой информацией.



**Рис. 6. Общая схема обеспечения безопасной эксплуатации техногенного объекта**

**Анализ схемы покрытия здания**

Покрытие согласно проектному решению представляет собой пространственную систему перекрестных ферм, ориентированных по взаимно перпендикулярным направлениям (шаг ферм – 9 м). Фермы запроектированы с параллельными поясами из широкополочных двутавров и решеткой из замкнутых гнуто-сварных профилей. Опирание ферм на колонны принято шарнирным. По верхним и нижним поясам ферм запроектировано устройство горизонтальных связей.

Кровля. По фермам покрытия и дополнительно устроенным прогонам согласно проектному решению предусмотрено устройство настила из стальных профилированных листов, слоя минераловатного утеплителя (плиты на основе базальтового волокна) и совмещенной плоской кровли с покрытием из полимерной мембраны Logicroof V-RP Arctic. Водоотвод с кровли – внутренний организованный.

По всем металлоконструкциям предусмотрено устройство антикоррозионной и противопожарной защиты различными материалами в зависимости от их расположения в каркасе здания.

В результате анализа расчетной схемы покрытия была отмечена вероятность потери устойчивости верхних поясов ферм в осях Г–Е, К–М. Необходимо установить мониторинг сжимающих напряжений в верхних поясах этих ферм.

Проанализировав расчетную модель покрытия, определили, что значения усилий растяжения в нижнем поясе фермы пропорциональны значениям усилий сжатия в верхнем поясе. Следовательно, путем измерения напряжений в нижних поясах, мы можем получить значения напряжений в верхних поясах. Напряжения в нижних поясах отслеживаем посредством измерения относительных деформаций удлинения с помощью тензодатчиков.

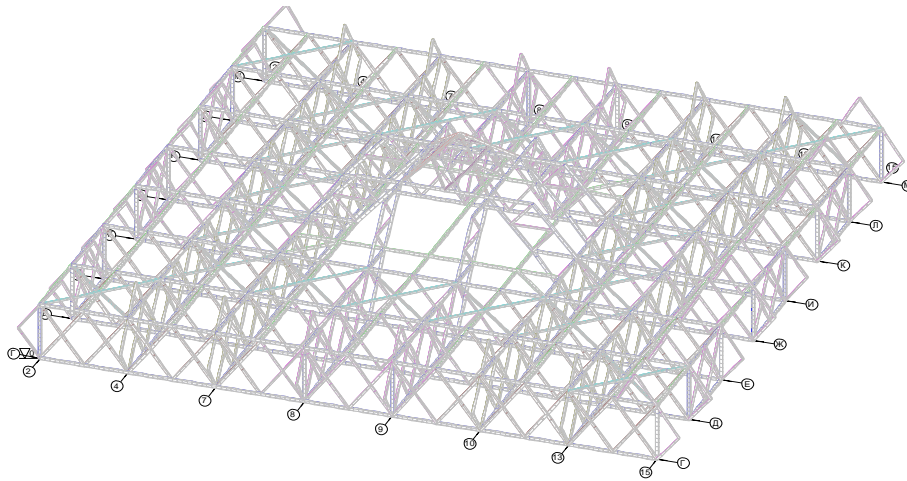


Рис. 7. Расчетная модель покрытия зала

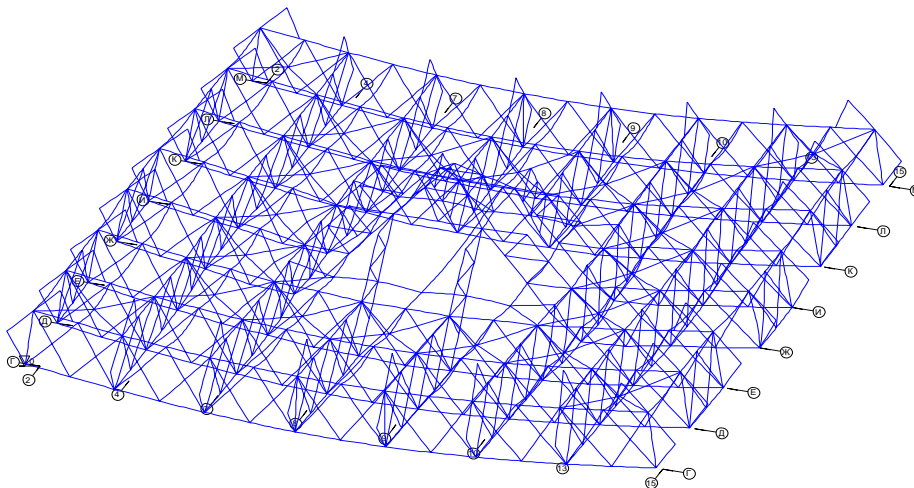
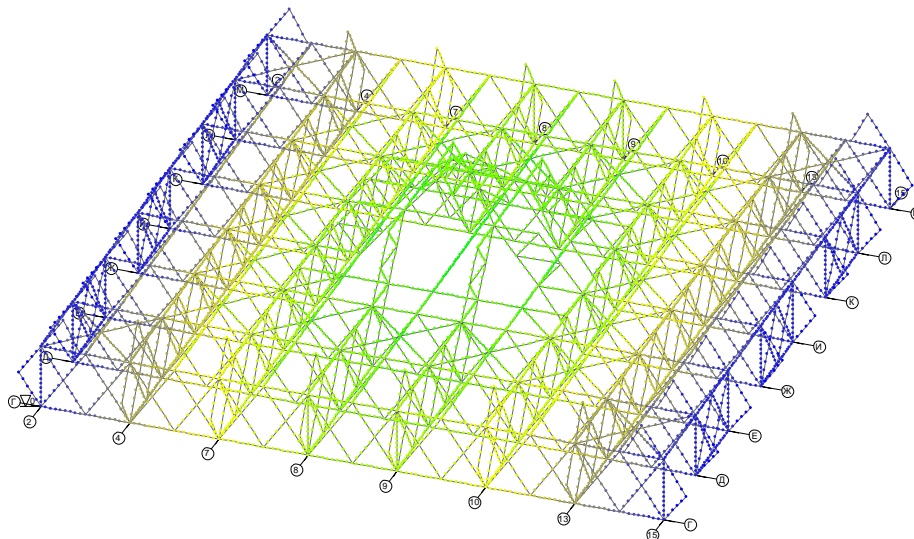


Рис. 8. Деформированная схема при основном сочетании нагрузок



Перемещения Z (мм)															
-206	-192	-178	-165	-151	-137	-123	-109	-95	-81	-67	-53	-39	-25	-11	3
-192	-178	-165	-151	-137	-123	-109	-95	-81	-67	-53	-39	-25	-11	3	17

Рис. 9. Перемещения узлов вдоль глобальной оси Z (прогибы) при основном сочетании нагрузок (значения нагрузок расчетные)

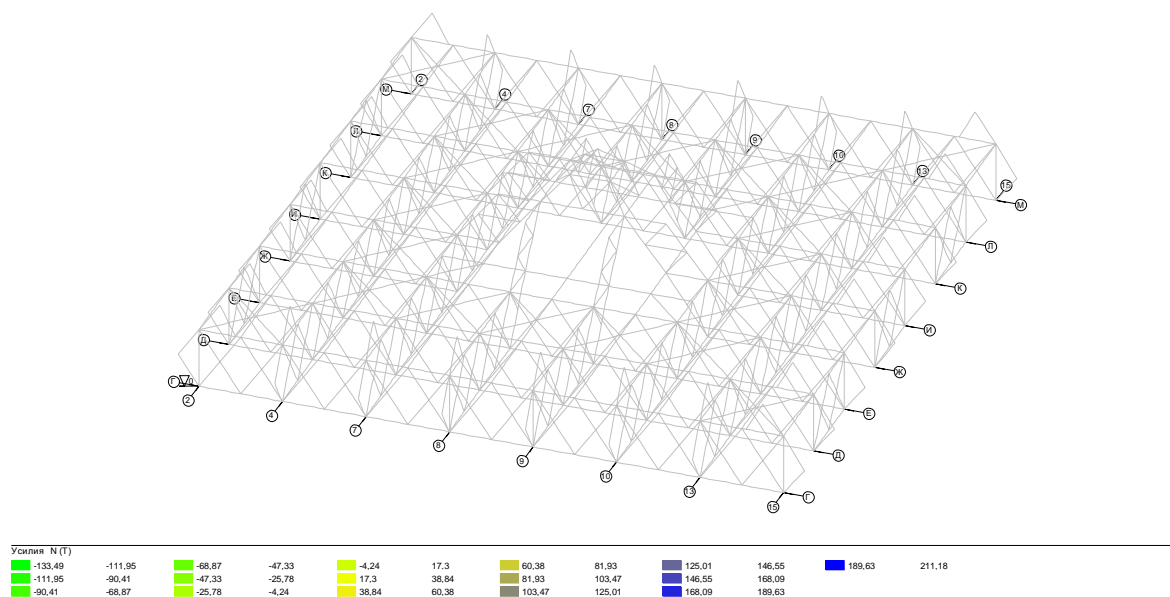


Рис. 10. Продольные усилия в элементах покрытия при основном сочетании нагрузок

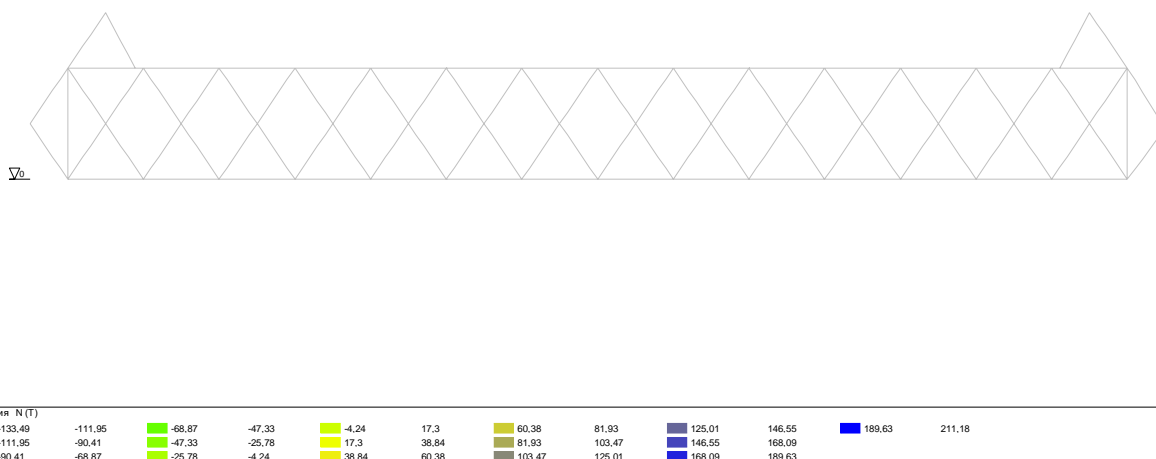


Рис. 11. Продольные усилия в элементах фермы по оси E при основном сочетании нагрузок

Установка тензодатчиков в нижних поясах ферм по буквенным осям для отслеживания относительных деформаций удлинения будет наиболее целесообразным решением с точки зрения монтажа и эксплуатации системы мониторинга в данной ситуации. Цифровые датчики деформации ZET 7110 DS производства компании ZETLAB установить в нижних поясах ферм, расположенных по осям Г, Д, Е, К, Л, М, между осями 8 и 9 (6 датчиков). Тензодатчики с помощью коммутационных проводов подключить к тензометрической станции ZET 017-T8, которая в свою очередь подсоединена к ПК с установленным программным обеспечением SCADA система ZETVIEW «Система мониторинга зданий и сооружений»

Прогибы несущих конструкций не превышают предельно допустимые, следовательно, отслеживание вертикальных перемещений элементов покрытия не считается целесообразным.

### Библиографический список

1. Гурьев В.В., Дорофеев В.М., Лысов Д.А., Назьмов Н.В. Автоматизированный контроль конструктивной безопасности уникальных объектов, включая высотные и большепролетные // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 2. С. 55–61
2. Ерёмин К.И., Шишкин И.В., Сорокин М.О. Безопасность спортивных сооружений в процессе строительства и эксплуатации // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». Апрель 2012 г.
3. ГОСТ Р ИСО 2394-2016. Конструкции строительные. Основные принципы надежности. Введ. 2017.05.01. М.: Стандартинформ, 2016.