**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА НЕСУЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ
ЦЕНТРА ПО ХОККЕЮ С МЯЧОМ И КОНЬКОБЕЖНЫМ ВИДАМ СПОРТА В Г. ИРКУТСКЕ**

Матвеев Владислав Евгеньевич

магистрант,
Иркутский Национально Исследовательский Технический Университет,
РФ, г. Иркутск
E-mail: matveev.995@mail.ru

Пинайкин Игорь Петрович

канд. техн. наук, доцент,
Иркутский Национально Исследовательский Технический Университет,
РФ, г. Иркутск
E-mail: pinaikin@bk.ru

**DESIGNING A STATIONARY MONITORING SYSTEM FOR BEARING STRUCTURES
OF COVERINGS OF LONG-SPAN STRUCTURES ON THE EXAMPLE OF A CENTER
FOR BALL HOCKEY AND SKATE SKATING IN IRKUTSK**

Vladislav Matveev

Master student,
Irkutsk National Research Technical University,
Russia, Irkutsk

Igor Pinaikin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Irkutsk National Research Technical University,
Russia, Irkutsk

АННОТАЦИЯ

В статье описывается целесообразность установки стационарной системы мониторинга на кровельные конструкции большепролетных спортивно-зрелищных объектах с точки зрения безопасной эксплуатации объекта. Статья содержит обзор обрушений спортивных сооружений, а также их анализ. Так же описывается программа и технические средства стационарной системы мониторинга, применяемые для оценки технического состояния основных несущих конструкций покрытий большепролетных спортивных центров на примере центра по хоккею с мячом, который находится в городе Иркутске. Разработанная система мониторинга предназначена для оценки текущего технического состояния несущих конструкций кровли, которые состоят из решетчатых двухшарнирных клеесдеревянных арок, пролетом в осях 99,9 м. Оборудование для мониторинга включает в себя набор датчиков, а именно инклинометры, тензометрические датчики и датчики линейных перемещений. Они, в свое время, соединяются с помощью системы проводов с компьютером и в цифровом виде через интерфейс передают информацию о состоянии ответственных несущих конструкций.

ABSTRACT

The article describes the feasibility of installing a stationary monitoring system on the roof structures of large-span sports and entertainment constructions in terms of safe operation of the building. The article contains an overview of the collapse of sports centers, as well as their analysis. It also describes the program and technical means of monitoring system used to assess the technical condition of the main load-bearing structures of the coatings of large-span sports centers on the example of the center for hockey, which is located in the city of Irkutsk. The developed monitoring system is designed to assess the current technical condition of the supporting structures of the roof, which consist of lattice double-hinged glued wooden arches, span in the axes of 99.9 m. The monitoring Equipment includes a set of sensors, namely inclinometers, strain gauges and linear displacement sensors.

They, at one time, are connected via a system of wires to the computer and digitally through the interface transmit information about the state of the critical load-bearing structures.

Ключевые слова: стационарная система мониторинга, неразрушающие методы контроля, большепролетные деревянные арки, датчик деформаций, датчик напряжений, прогиб, напряженно-деформированное состояние, тензодатчик, безопасность зданий.

Keywords: stationary monitoring system, non-destructive control methods, large-span wooden arches, strain gauge, stress gauge, deflection, stress-strain state, strain gauge, building safety.

С введением в действие технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» мониторинг как система наблюдения и контроля нормируемых параметров состояния конструкций определен одним из основных способов обеспечения безопасности зданий (гл. 5, ст. 36) и является обязательной формой оценки их соответствия (гл. 6, ст. 40 и 41), а правило его проведения регламентированы ГОСТР53778-2010 «Здания и сооружения. Правило обследования и мониторинга технического состояния». Кроме того, Закон г. Москвы №) 35 от 11.07.2007 г. «О мониторинге особых объектов нежилого фонда», предусматривает обязательный мониторинг большепролетных конструкций покрытий (пролетом более 18 м).

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 как раз и относятся крупные здания с большепролетными конструкциями.

В здании 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.

В последние годы часто озвучиваются проблемы, касающиеся безопасности эксплуатируемых зданий. Обеспечение надежности конструкций строящихся элементов, сохранение и срок службы, сокращение

затрат и способы восстановления не утрачивают своей актуальности. Финансирование этих работ оправдано прежде всего потому, что создание таких систем приводит к повышению качества и безопасности зданий и сооружений.

Причиной аварий зачастую становится банальное халатное отношение к объектам. Полагая, что здание не рухнет, собственники объектов выделенные средства тратят совсем на другие нужды. Часто случается, что вместо требуемого усиления здания начинается, например, возведение дополнительного этажа, что еще более усугубляет положение. В то же время и усиление проводится с нарушением предложенных специалистами технологий и применением некачественных материалов. Следует отметить, что немало аварий случается при неправильной эксплуатации сооружения, а также в процессе реконструкции или демонтажа.

Проблема аварийного разрушения зданий и сооружений актуальна не только в России, но и за ее пределами. В новостных лентах средств массовой информации постоянно присутствуют сообщения о разрушении зданий в той или иной части света, что свидетельствует об актуальности проблемы мониторинга технического состояния зданий.

В нашей стране и в мире произошел ряд обрушений зданий, привлекий повышенное внимание, как общественности, так и компетентных органов к проблеме обеспечения конструктивной (механической) в определении Технического регламента о безопасности зданий и сооружений) безопасности эксплуатируемых строительных объектов. Приведем некоторые из них: 2004 г. - разрушение покрытия купола здания «Трансвааль парка» в г. Москве, см. рисунок 1. Трагедия унесла жизни 28 человек, в том числе восьми детей, более 100 пострадали, многие из них стали инвалидами.

Рисунок 1. Разрушения покрытия здания «Трансвааль парка»

2005 г. - обрушение покрытия терминала в парижском аэропорту Руасси - Шарль де Голль; 2005 г. - обрушение кровли в бассейне "Дельфин" в городе Чусовой Пермского края; 2006 г. - обрушение покрытия закрытого катка в г. Бад-Райхенхаль в Германии; 2006 г. – обрушение покрытия Басманного рынка в г. Москве;

2009 г. – обрушение покрытия спорткомплекса в городе Благовещенске, см. рисунок 2; Конструкции крыши рухнули буквально за несколько минут до того, как в зал должны были зайти футболисты. По счастливой случайности спортсмены не пострадали, травмы получил только прохожий, который имел несчастье оказаться рядом со «Спартаком» в неподходящий момент.

Рисунок 2. Обрушение покрытия спорткомплекса в городе Благовещенске

2010 г. – обрушение покрытия стадиона «Метродом» в Миннеаполисе США;

2011 г. – кровля спортивного комплекса в Выборгском районе Санкт-Петербурга частично обрушилась 10 января днем: два человека пострадали, их состояние не тяжелое, см рисунок 3.

Рисунок 3. Обрушение кровли спортивного комплекса в Выборгском районе

Обрушение спортивного комплекса на улице Комарова, г. Полтава, Украина, в 2016, см рисунок 4. Перекрытие не выдержало толстого слоя снега и

сильного ветра. Здание обрушилось вечером, когда людей в нем не было, никто не пострадал.

Рисунок 4. Обрушение спортивного комплекса в городе Полтава

Для предотвращения обрушений большепролетных конструкций спорткомплексов необходимо своевременное выявление нарушений нормируемых требований в начальный период и при длительной эксплуатации конструкций. Для осуществления вышеуказанных целей и разрабатывается автоматизированная система мониторинга несущих конструкций кровельной системы.

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.

В России существует ряд большепролетных объектов строительства, для которых уже был разработан автоматизированный мониторинг конструкций покрытия, например Дворец спорта в Крылатском, ЦВЗ Манеж, Дворец спорта «Строгино» и др.

В 2018 году закончилась реконструкция в Красноярске стадиона "Енисей". Одним из основных элементов в конструкции для кровли использовались деревянные арки пролетом 99,9 метра. В этом состоит уникальность этого здания. Каждая арка состоит из 8 деревянных клееных частей, которые при укрупнительной сборке образуют уникальную конструкцию. Арка собирается из двух половин, вес каждой — 47 тонн. Процесс установки может занимать до 10 часов. В конструкции стадиона "Енисей" предусмотрена установка 9 таких арок. Это передовая и не распространенная на данный момент технология в виду сложного монтажа. При этом применение клееных деревянных конструкций снижает металлоемкость и массу здания. На сегодняшний день ведется строительство подобного стадиона в Иркутске, на примере которого и будет разрабатывать стационарная система мониторинга несущих конструкций кровельной системы.

Конструкции таких размеров впервые устанавливаются в России. Именно поэтому необходима разработка автоматизированной системы мониторинга с возможностью осуществления контроля за состоянием несущих деревянных клееных конструкций покрытия в процессе эксплуатации.

Поскольку древесина является сложным строительным материалом, то для понимания и правильного моделирования поведения деревянных конструкций под нагрузкой необходимо учитывать множество параметров, например анизотропию, реологичность, неоднородность, гигроскопичность, пороки (трещиноватость и сучки) и т. д. Но уровень сложности значительно возрастает, когда рассматриваются масштабные деревянные конструкции, такие как большепролетные арки. Чем больше конструкция, тем сложнее учесть влияние нагрузок.

Мониторинг деревянных арок покрытий также может дать важную информацию для проектирования подобных конструкций, и такая система может предоставить множество данных для дальнейших исследований и разработок, а также способствовать созданию базы данных, которая может быть использована для будущих разработок и оптимального проектирования.

Мониторинг направлен на отслеживание поведения конструкций и старения в двух основных целях:

- повышение уровня безопасности деревянных конструкций (и людей внутри),
- продление срока службы деревянных конструкций (снижение стоимости всего жизненного цикла).

При автоматизации мониторинга должны использоваться неразрушающие методы контроля. При разработке автоматизированных систем мониторинга напряженно-деформационного состояния несущих конструкций покрытия для получения объективных результатов чрезвычайно важно правильно выбрать определяющие для мониторинга параметры, а также достаточную точность приборов

(датчиков) для измерения контролируемых параметров и их тестирование.

Автоматизированная система должна иметь следующую структуру:

- первичные датчики и оборудование;
- система сбора, управления и первичной обработки данных;
- математическая (компьютерная) модель объекта для комплексных инженерных расчетов определения вероятных сценариев отказов и параметров контроля напряженно-деформированного состояния строительных конструкций объекта;

- комплекс специального программного обеспечения по обработке данных и отображению результатов мониторинга, оценке технического состояния (устойчивости, сейсмостойкости, остаточного ресурса и долговечности) и определению управляющих решений и рекомендаций по эффективной эксплуатации.

На рисунке 5 представлена принципиальная структурная схема автоматизированной системы мониторинга несущих конструкций.

Рисунок 5. Структурная схема станции

Подсистема напряженно-деформированного состояния несущих конструкций кровли предназначена для своевременного выявления существенных изменений напряженно-деформированного состояния в арочных конструкциях стадиона, которые могут повлечь за собой перевод объекта в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

Изменение напряженно-деформированного состояния конструкций может быть вызвано множеством причин: плохое качество строительных материалов, нарушения порядка проведения строительно-монтажных работ, неравномерная осадка фундамента инженерного сооружения, просчеты в проектировании нагрузок.

Методика оценки напряженно-деформированного состояния конструкций покрытия принята следующей.

Используя результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкций здания, находятся области концентрации напряжений и величины узловых перемещений элементов конструкции при их нагружении собственным весом, снеговой и ветровой нагрузками. В разработке проектов автоматизированного мониторинга параметров важен выбор и обоснование необходимого аппаратного (датчики, преобразователи сигналов и др.) и программного обеспечения для вывода процесса мониторинга на персональный компьютер.

В местах концентрации напряжений проектируемой конструкции устанавливаются датчики деформации, а в местах максимальных перемещений узлов конструкции арки устанавливаются датчики перемещения. В середине пролета каждой арки для контроля прогибов устанавливаем электронный прогибомер. Значения напряжений и перемещений являются проектными на момент ввода здания в эксплуатацию. Текущие значения измеряются аппаратной частью системы мониторинга и сравниваются с проектными значениями. Приращения текущих значений добавляются к проектным при этом суммарные значения

не должны превышать нормативные значения прочности, прогиба или перемещения элементов конструкций.

Для автоматизированного мониторинга НДС несущих конструкций кровли были выбраны цифровые тензометрические датчики ZET 7110-DS для контроля напряжений в наиболее нагруженных участках элементов конструкций, цифровые инклинометры ZET 7154, которые обеспечивают контроль прогибов несущих элементов конструкции и для замера деформаций перемещений в узлах конструкций – датчики линейных перемещений (электронные индикаторы) LVDT WL/5MM-T.

Сигналы со всех типов датчиков по интерфейсу Ethernet передаются на промышленный компьютер и далее на сервер, где архивируются в базе данных. Для каждого из регистрируемых сигналов производится сравнение с уровнями пороговых значений, в случае превышения которых формируются сигналы оповещения диспетчера.

Наличие малейшей дополнительной нагрузки четко фиксируется цифровыми датчиками и отображается на графике, что позволяет сделать вывод о высокой чувствительности к изменению реальной величины относительной деформации в точке установки и возможности отслеживания динамики изменения в автоматическом режиме. А наличие функции метрологического самоконтроля позволяет производить диагностику цифровых датчиков в процессе их эксплуатации без демонтажа и прерывания процесса мониторинга.

Для контроля прогибов в изгибаемых арочных конструкциях, предельные значения которых нормируются, необходимо установить электронный инклинометр в середину пролета каждой арки.

Для измерения прогиба конструкций необходимо отработать способ прямого измерения его величины. Для этого воспользуемся датчиками слежения за перемещениями.

Цифровой инклинометр ZET 7154 показан на рисунке 6. Он представляет собой измерительный модуль со встроенным первичным преобразователем. Инклинометр ZET 7154 с высокой точностью определяет прогибы конструкций и формируемые сигналы о тревоге и об ошибках.

Рисунок 6. Цифровой инклинометр ZET 7154 для прогиба конструкций

Рисунок 7. Измерительная сеть на базе датчиков ZET 7154

Чтобы построить измерительную сеть с использованием цифрового датчика понадобятся преобразователи интерфейсов для подключения датчиков к компьютеру с программным обеспечением ZETSENSOR. ПО автоматически определяет все инклинометры, подключенные к сети, проводит диагностику и оповещает пользователя о неисправности датчиков, если таковая имеется. Помимо стандартных стартовых функций программное обеспечение позволит на мониторе компьютера видеть все измерения, проводящиеся системой, своевременно предотвращать критические отклонения от заданных параметров и использовать полученные данные для дальнейших инженерных расчетов.

При мониторинге прогибов и перемещений конструкций несущих деревянных арок покрытия должно выполняться следующее условие:

$$f \leq f_u,$$

где f – расчетный прогиб (выгиб) и перемещение конструкции, определяемые для деревянных арок в программном комплексе SCAD.

f_u – предельный прогиб (выгиб) или перемещение, устанавливаемые нормами для конструкций покрытия, пролетом более 36 м:

$$f_u = l[1/300]$$

где l – пролет арки [5].

Найдем значение предельного прогиба (м):

$$f_u = l[1/300] = 99.9[1/300] = 0,33\text{ м}.$$

В таблице 1 приведены расчетные значения прогибов для каждой деревянной арки покрытия, а так же предельные значения прогибов

Таблица 1.

Расчетные значения прогибов для арок

№ арок	Расчетные прогибы, мм	Предельные прогибы, мм
1	52,857	330
2	52,857	330
3	54,206	330
4	53,002	330
5	53,557	330
6	51,803	330
7	51,881	330
8	53,592	330
9	53,4	330
10	54,209	330
11	52,734	330
12	32,785	330

Таким образом, если в процессе работы цифровых инклинометров прогиб какой-либо из несущих арок превысит данное расчетное значение, формируется соответствующий сигнал «Предупреждение». В случае же детектирования превышения предельных

прогибов конструкций формируется сигнал «Опасность».

На рисунке 8 показан прогиб наиболее деформированной арки здания.

Рисунок 8. Деформированная схема арки

Как правило, напряженное состояние определяется через деформации.

Тензодатчики ZET 7110-DS устанавливаются на наиболее нагруженные участки элементов арочных конструкций, в местах концентрации напряжений (при работе древесины на растяжение), для контроля их деформаций, см. рисунок 9.

ZET 7110 DS — цифровой датчик малых деформаций (с интегрированным тензорезистором) предназначен для контроля конструкций на сжатие/растяжение.

Рисунок 9. Тензодатчик ZET 7110-DS малых деформаций

Цифровой тензодатчик применяется для оценки напряженно деформированного состояния и выдачи предупреждающего сигнала при превышении упругой

зоны деформации и переходе в зону необратимой деформации.

Цифровой датчик малых деформаций ZET 7110 DS состоит из первичного преобразователя и измерительного модуля ZET 7110.

Каждый цифровой датчик малых деформаций может конфигурироваться индивидуально в соответствии с предъявляемыми к измерению требованиями. Конфигурация сохраняется в памяти измерительного модуля ZET 7110, таким образом, использование цифровых датчиков деформации позволяет приступить к измерениям без дополнительной обработки и настройки, получая результаты в требуемых единицах измерения (кг, Н, Па, мм и т.д.).

Цифровые датчики малых деформаций ZET 7110 DS имеют 2 четырехконтактных разъема FQ14-4ZK-S для подключения к измерительной сети. Датчики крепятся на объекте измерений, а интерфейсные модули, которые обеспечивают передачу информации, располагаются в электротехнических шкафах.

При построении измерительной сети датчики ZET 7110 подключаются последовательно (см. рисунок 10), получившаяся измерительная цепочка подключается к компьютеру с помощью преобразователя интерфейсов ZET 7174 (CAN ↔ USB).

Рисунок 10. Измерительная сеть датчиков ZET 7110

В наиболее нагруженных сечениях по высоте каждой арки ставим тензодатчики нормальных напряжений

Как правило, в отличие от металла, влажность деревянных конструкций подвержена изменению вследствие изменения температурно-влажностных параметров окружающей среды и колеблется в диапазоне от 8 до 10 % [6]. Это серьезно сказывается на значении модуля упругости деревянных арок, значение которого может меняться до 10 %.

Этот фактор необходимо учитывать при мониторинге, так как тензометрические датчики перемещения измеряют величину относительной деформации в точке установки.

Для получения корректной информации о напряжениях, возникающих в деревянных арках покрытия, необходимо учитывать деформации древесины, на которые влияет равновесная влажность дерева, которая устанавливается в соответствии с изменениями температурно-влажностных условий помещения. Для этого нужно проводить мониторинг влажностных параметров конструкций деревянных арок покрытия, так как при повышении влажности древесины от нулевой до точки насыщения волокон примерно до 30 % ее прочность уменьшается, деформативность увеличивается, и модуль упругости снижается. Выбираем электрический способ измерения влажностных параметров. График зависимости напряжения от влажности представлен на рисунке 11.

Рисунок 11. График зависимости напряжения от влажности

Электрический способ позволяет на месте без отбора проб древесины более быстро определить ее влажность с помощью специальных приборов — электровлагомеров. Выбираем стационарные влагомеры древесины серии СВД – 00, который показан на рисунке 12. Влажность древесины при этом определяется косвенным путем на основании измерения ее омического сопротивления, которое зависит от величины гигроскопической влажности древесины.

Измерения производятся с помощью игольчатых электродов, заглубляемых в древесину на 5-10 мм, что характеризует электросопротивление ее поверхностного слоя.

Безусловным достоинством метода является возможность проведения дистанционных измерений с использованием автоматизированных средств.

Вблизи каждого тензодатчика устанавливаем датчики измерения влажности для того, чтобы установить зависимость местных напряжений от показателей влажности.

Многоканальные измерители влажности древесины - стационарные влагомеры серии СВД, предназначенные для дистанционного определения влажности древесины с помощью 4 кондуктометрических датчиков.

Результаты измерений передаются через порт RS-485 по протоколу Modbus ASCII.

Длина линии связи до 1000 метров, к линии может быть подключено до 31 измерителя влажности.

Рисунок 12. Стационарный влагомер древесины серии СВД – 00

Диапазон измерения влажности древесины (массовое отношение влаги) от 7% до 30%, а предел абсолютной погрешности прибора при измерении влажности древесины:

- в диапазоне от 7% до 12% - $\pm 2\%$
- в диапазоне от 12% до 30% - $\pm 2,5\%$

На основе показателей влагомера определяем зависимость местного относительного удлинения от показателя влажности древесины, зависимость модуля упругости от влажности определяем по формуле:

$$E_w = \frac{E_{12}}{1 + \alpha(W - 12)}$$

Далее определяем показатель относительного удлинения по формуле:

$$\varepsilon = \frac{R}{E}$$

Для замеров деформаций перемещений в узлах конструкций был выбран датчик перемещения LVDT WL/5MM-T.

Датчик перемещения — это прибор, определяющий величину линейного и углового механического перемещения объекта.

LVDT-датчики обеспечивают хорошую точность, линейность, чувствительность и разрешение, а также работу без трения и высокую жёсткость. Датчики перемещения LVDT подключаются к регистрирующей аппаратуре ZET 7111-L.

LVDT-датчик преобразует прямолинейное перемещение объекта, с которым он связан механически, в электрический сигнал.

К отличительным особенностям LVDT-датчиков можно причислить то, что их точность замера составляет 10^{-2} мм.

Линейные дифференциальные трансформаторы с переменным коэффициентом передачи (Linear Variable Differential Transformer — LVDT) являются точным и надёжным средством для измерения линейного перемещения.

Датчики преобразуют линейные перемещения объекта измерения в электрический сигнал, при подключении к нему измерительный модуль ZET 7111-L, то он в свою очередь будет преобразовывать и передавать данные с датчика на ПК. Схема подключения LVDT-датчиков показана на рисунке 13.

Рисунок 13. Схема подключения LVDT-датчиков

Область мониторинга эксплуатационных воздействий на деревянные конструкции, в отличие от конструкций из других видов материалов, имеет особое значение ввиду существенного влияния на состояние древесины параметров микроклимата воздуха (t-ф) и длительности действия нагрузок (в зависимости от параметров t- ф древесина приобретает равновесную влажность, при изменении которой на 1% прочность может снижаться при ее увлажнении до 3-4%; неблагоприятные переменные колебания t- ф приводят к появлению трещин и расслоений на поверхностях КДК, чрезмерное увлажнение к

появлению очагов гниения, а эффект ползучести древесины при длительно действующей нагрузке требует введения при расчетах почти двукратного запаса прочности для постоянных нагрузок, по сравнению с кратковременным их действием при испытаниях).

Все вышеперечисленные датчики устанавливаются на объекте измерений и по линиям связи подключаются к узлам сбора и обработки информации (см. рисунок 14), которые представляют из себя электротехнический шкаф с установленными в нём интерфейсными и вспомогательными модулями.

Рисунок 14. Узел сбора и обработки информации

Чтобы построить измерительную сеть с использованием цифрового датчика, понадобятся преобразователи интерфейсов для подключения датчиков к компьютеру с программным обеспечением ZETSENSOR.

ПО автоматически определяет все датчики, подключенные к сети, проводит диагностику и оповещает пользователя о неисправности датчиков, если

таковая имеется. Помимо стандартных стартовых функций программное обеспечение позволит на мониторе компьютера видеть все измерения, проводящиеся системой, своевременно предотвращать критические отклонения от заданных параметров и использовать полученные данные для дальнейших инженерных расчетов.

Список литературы:

1. А.В. Калугин, Деревянные конструкции. Издательство Ассоциации строительных Вузов, Москва, 2003.
2. Слуцкоухов Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс. 1986.
3. ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
4. Лужин О.В. Обследование и испытание сооружений. Стройиздат. 1997. 236 стр.
5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*
6. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.
7. В.В. Леденев, В.П. Ярцев. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений.