

УДК 624.014

Основные принципы формирования системы мониторинга технического состояния покрытия над трибунами стадионов

**Горохов Е.В., д.т.н., Мущанов В.Ф., д.т.н., Левин В.М.,
Мнацаканян К.Б., Касимов В.Р., к.т.н.**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Украина

Анотація. У статті досліджені основні принципи формування системи моніторингу покриттів над трибунами стадіонів. Розглянуті різні принципи реалізації системи моніторингу й діагностики несучих конструкцій унікальних споруд. Донбаською НАБА запропонована власна концепція щодо формування системи моніторингу унікальних споруд і рекомендована блок-схема з реалізації системи моніторингу унікальних споруд.

Аннотация. В статье исследованы основные принципы формирования системы мониторинга покрытий над трибунами стадионов. Рассмотрены различные принципы реализации системы мониторинга и диагностики несущих конструкций уникальных сооружений. Донбасской НАСА предложена собственная концепция по формированию системы мониторинга уникальных сооружений и рекомендована блок-схема по реализации системы мониторинга уникальных сооружений.

Abstract. The main principles of monitoring formation system of coverings above stadiums' stands. In the article investigated are the main principles of monitoring formation system of coverings above the stadiums' stands. Examined are different principles of monitoring system realization and diagnostics of load-carrying structures of unique structures; Donbass National Academy Architectural and Building suggested its own idea dealing with the monitoring formation system of unique structures and recommended the block diagram of its realization.

Ключевые слова: мониторинг, покрытие над трибунами стадионов

Проведение спортивных состязаний последних лет (европейские и мировые футбольные первенства, олимпийские игры) дало большой толчок в строительной отрасли по возведению спортивных арен новой формации. Данные объекты значительно видоизменили свое основное функциональное назначение, превратившись из стадионов классического типа для проведения конкретных спортивных мероприятий в объекты многофункционального культурно-развлекательного направления, где стали проводить помимо спортивных соревнований и различные культурно-досуговые мероприятия, что, в свою очередь, значительно повысило частоту использования и наполняемость арен. Все это способствовало тому, что такие организации как УЕФА и ФИФА ужесточили требования к обязательному устройству покрытия над трибунами объектов класса «люкс» (стадионам уровня «пять звезд»).

В нормативних документах України [2] указанные объекты вошли в перечень объектов «... имеющих уникальное и особенно важное народнохозяйственное и/или социальное значение...», которые подлежат обязательному научно-техническому сопровождению в процессе проектирования, строительства и эксплуатации. Одним из пунктов научно-технического сопровождения объектов является обязательное осуществление мониторинга. Аналогичные требования выдвинуты УЕФА и ФИФА к объектам, принимающим матчи высокого ранга, для которых мониторинг является неотъемлемым элементом системы эксплуатации. Создание и постоянная эксплуатация системы мониторинга технического состояния основных несущих конструкций сооружения и ее показания служат единственным достоверным обоснованием готовности объектов к проведению матчей любого уровня.

На необходимость создания системы мониторинга указывает и накопившийся в последние годы опыт эксплуатации спортивных объектов во всем мире, в том числе и в России, где подобные системы мониторинга создаются в индивидуальном порядке с учетом специфических свойств объектов [4, 7].

При всем своем многообразии идеология разрабатываемых в настоящее время систем мониторинга основывается на двух принципиальных схемах или подходах:

- 1) определение интегральных характеристик перемещений наиболее ответственных узлов конструкций, позволяющих определить фактическое положение конструкции в пространстве и являющихся основой дальнейшего анализа напряженно-деформированного состояния сооружения (опыт мониторинга спортивных сооружений, накопленный как Донбасской национальной академией строительства и архитектуры, так и ЦНИИСК им. Кучеренко (г. Москва, Россия): крытый стадион и плавательный бассейн на проспекте Мира, универсальный спортивный зал «Измайлово», футбольно-легкоатлетический комплекс и универсальный спортивный зал ЦСКА, стадион «Локомотив» в г. Москве, Крытый конькобежный каток в г. Коломна и др.);
- 2) непосредственная фиксация деформаций (напряжений) наиболее ответственных элементов сооружения с последующим заключением о их несущей способности (наиболее показательный пример – покрытие над трибунами стадиона «Лужники» (г. Москва, Россия).

Наряду с вышесказанным особенностью ряда создаваемых в настоящее время систем мониторинга ответственных объектов является реализация контроля основных узлов и элементов объекта в режиме *on-line*, позволяющем оперативно реагировать на возникающие ситуации. Создаваемые на

такой основе системы относятся к классу специальных многоканальных измерительно-информационных систем реального времени с распределенными свойствами и переменной номенклатурой сенсоров первичных физических параметров, которые должны удовлетворять требованиям работоспособности, достоверности и эффективности. Анализируя соответствие системы мониторинга каждому из перечисленных аспектов, можно отметить следующее:

- оценка работоспособности и надежности системы заключается в проверке соответствия реальных метрологических характеристик, заявленных в технических условиях, и адекватности их передачи на центральный концентратор. Результатом такой проверки может быть выявление дополнительной погрешности, вводимой условиями эксплуатации «Системы...», и разработка рекомендаций по ее компенсации. Работы такого рода могут проводиться автономно, поэлементно, с применением образцового поверочного оборудования;
- достоверность «Системы...» заключается в ее способности формировать архивы получаемых данных, интегрировать их в виде рабочих модулей (таблицы, графики, диаграммы...) в соответствии с заложенным алгоритмом обработки;
- об эффективности «Системы...» можно судить по степени соответствия экспертных оценок, формируемых «Системой...», реально протекающим процессам в контролируемом объекте и возможности на их базе принимать симметричные меры по предотвращению нежелательных режимов эксплуатации.

При возможных отличиях в реализации системы, обусловленных конструктивным решением объекта, создаваемая система мониторинга должна иметь комплексный характер, сочетающий, с одной стороны, применение современных методов неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния конструкций, прочностных характеристик материалов и, с другой стороны, – традиционную систему плановых осмотров, выполняемых службой эксплуатации объекта с привлечением специализированных организаций. При этом базовой компонентой создаваемой системы должны стать методы геодезического контроля положения сооружения, данные измерения которых являются интегральной характеристикой, позволяющей судить о состоянии объекта. Предполагаемая схема работ по созданию и эксплуатации системы мониторинга может включать следующие основные этапы:

I-й этап – фиксирование и анализ начального состояния конструкций, подготовленных к сдаче в эксплуатацию. На данном этапе работ предполагается выполнить следующий перечень работ:

- а) Формирование базы экспериментальных данных о параметрах, определяющих напряженно-деформированное состояние объекта (постоянных и временных (прежде всего климатологических), нагрузках и воздействиях, фактической геометрии смонтированного сооружения, температурно-влажностном режиме эксплуатации, величинах осадок, начальных дефектах, допущенных при изготовлении, и монтажные несовершенства);
- б) Выполнение перерасчетов смонтированных конструкций на действие фактических нагрузок и воздействий с учетом фактической пространственной геометрии, сечений, начальных дефектов и несовершенств.

Для подбора аппаратной базы системы мониторинга необходимо знать верхний и нижний пределы измеряемых величин, которые, с одной стороны, определяются в соответствии с [3], а с другой – должны быть вычислены путем моделирования критической ситуации на математической модели сооружения. В связи с тем, что данные действующих нормативных документов не могут охватить весь спектр разнообразия конструктивных решений различных сооружений, то в ряде случаев, в особенности для уникальных зданий и сооружений, необходимо опираться на данные, полученные в результате расчетов.

Примером такой предварительной качественной оценки могут служить данные расчетов чувствительности системы к изменчивости внешних факторов, проведенные ДонНАСА на основе гипотетического анализа конструктивной схемы стационарного покрытия над трибунами стадиона «Днепр-Арена» (г. Днепропетровск, Украина). В качестве номинального значения внутренних усилий в основных несущих элементах покрытия принимались усилия при следующей комбинации загрузений: *собственный вес покрытия – снеговая нагрузка – осадка опор – монтажные несовершенства*.

Номинальные значения указанных факторов приняты как: *а)* – снеговая нагрузка, в соответствии с [1] с характеристическим (нормативным) значением снеговой нагрузки – $s_0 = 1400$ Па; *б)* – осадка опоры фермы – 4 см; *в)* – монтажное несовершенство, смоделированное в виде неточности изготовления и связанное с этим отклонение от проектного положения узла примыкания нижнего пояса и раскоса к опоре (крайний правый узел) на 2 см.

Полученные результаты расчетов представлены в виде соотношения значения силового фактора, принятого для данного варианта расчёта, к номинальному значению и приведены в абсолютной и относительной формах в табл. 1 и 2.

Таблиця 1

**Продольные усилия в кН в наиболее нагруженных элементах конструкции
стационарного покрытия для различных загрузений**

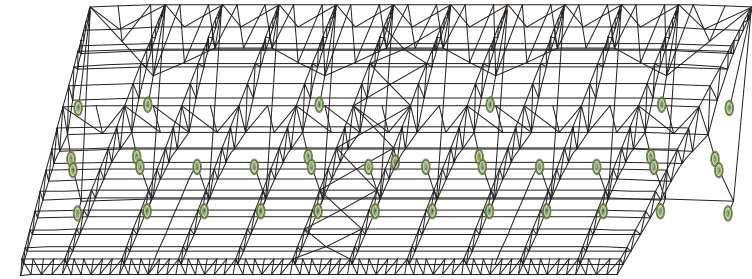
№ п/п	Элементы покрытия	N_z от постоянной нагрузки	N_z от снеговой нагрузки (проектное значение)	Номинальное значение N_z	N_z от снеговой нагрузки (по ДБН)	N_z от просадки опоры фермы	N_z от монтажно-о воздействия
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Верхнего пояса фермы	259,9	478,8	738,8	670,4	-35,0	27,4
		354,1	649,9	1004,0	909,8	-47,5	37,2
		833,3	1435,1	2268,4	2009,1	-92,1	81,4
2	Нижнего пояса фермы	-235,5	-305,5	-541,0	-427,7	23,8	-40,2
		-471,1	-884,2	-1355,3	-1237,9	103,3	-34,0
		-506,4	-783,2	-1289,5	-1096,5	43,7	-76,5
3	Решетки фермы	-86,9	-127,7	-214,6	-178,8	8,7	-14,7
		61,3	122,7	184,1	171,8	-1,6	2,4
		33,9	64,7	98,6	90,5	-25,7	-1,0
4	Внешнего опорного контура	289,1	521,3	810,4	729,8	1,7	93,7
		244,9	425,0	669,9	594,9	-7,2	-51,0
		235,8	421,7	657,4	590,3	-4,6	-59,0
5	Подстропильной фермы	-408,2	-643,9	-1052,1	-901,4	126,0	9,4
		532,0	846,8	1378,8	1185,5	-169,6	-13,0
		549,8	858,5	1408,2	1201,8	-168,2	-13,2

Таблиця 2

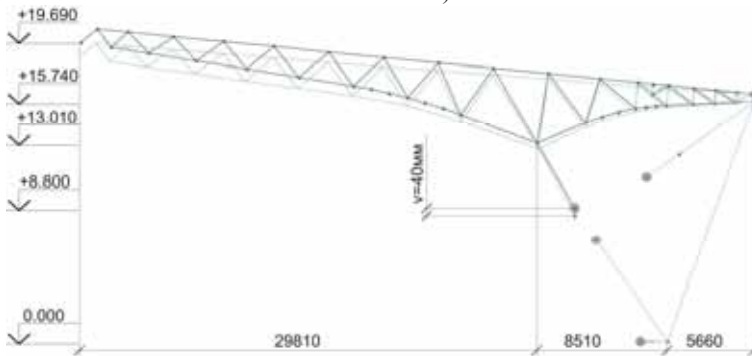
**Относительные значения усилия (%) в наиболее нагруженных элементах
конструкции стационарного покрытия**

№ п/п	Элементы покрытия	Снеговая нагрузка по ДБН	Вертикальное перемещение опоры	Монтажное воздействие
1	2	3	4	5
1	Верхнего пояса фермы	90,74	4,74	3,7
		90,62	4,73	3,7
		88,57	4,06	3,59
2	Нижнего пояса фермы	79,06	4,41	7,44
		91,34	7,62	2,51
		85,03	3,39	5,93
3	Решетки фермы	83,32	4,07	6,85
		93,35	0,88	1,31
		91,81	26,02	1,06
4	Внешнего опорного контура	90,06	0,21	11,56
		88,82	1,07	7,62
		89,79	0,69	8,97
5	Подстропильной фермы	85,68	11,98	0,9
		85,98	12,3	0,94
		85,34	11,95	0,94

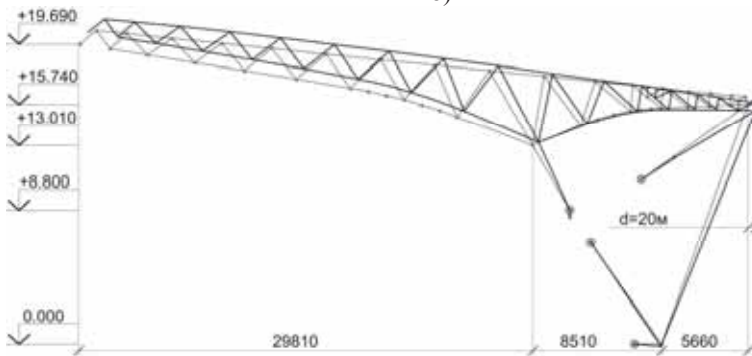
Примечание. Значения в столбцах определены по формуле $\frac{N_z}{N_{ном.}}=100\%$, где
 $N_{ном.}=N_{пост} + N_{снег\ проект}$



а)



б)



в)

Рис. 1. Расчетные схемы конструкций исследуемого покрытия:
а – исследуемой части покрытия; б – деформирования поперечной фермы
покрытия до и после осадки опоры; в – деформирования поперечной
фермы покрытия до и после отклонения от проектного положения узла
сопряжения элементов

- в) Выполнение на основе использованных экспериментально-теоретических методов сравнительной оценки проектной и начальной надежности конструкций объекта, соответствующей началу его эксплуатации;
- г) Разработка принципиального решения системы мониторинга технического состояния несущих конструкций объекта.

Результатами I-го этапа работ могут быть:

- а) создание паспорта технического состояния сооружения;
- б) определение характерных элементов и узлов конструкции, определяющих надежность сооружения в целом и требующих особого контроля в ходе эксплуатации объекта;
- в) установление критических значений контролируемых параметров деформаций характерных элементов и перемещений узлов, используемых при текущем контроле состояния объекта;
- г) выбор приборной базы для мониторинга строительных конструкций.

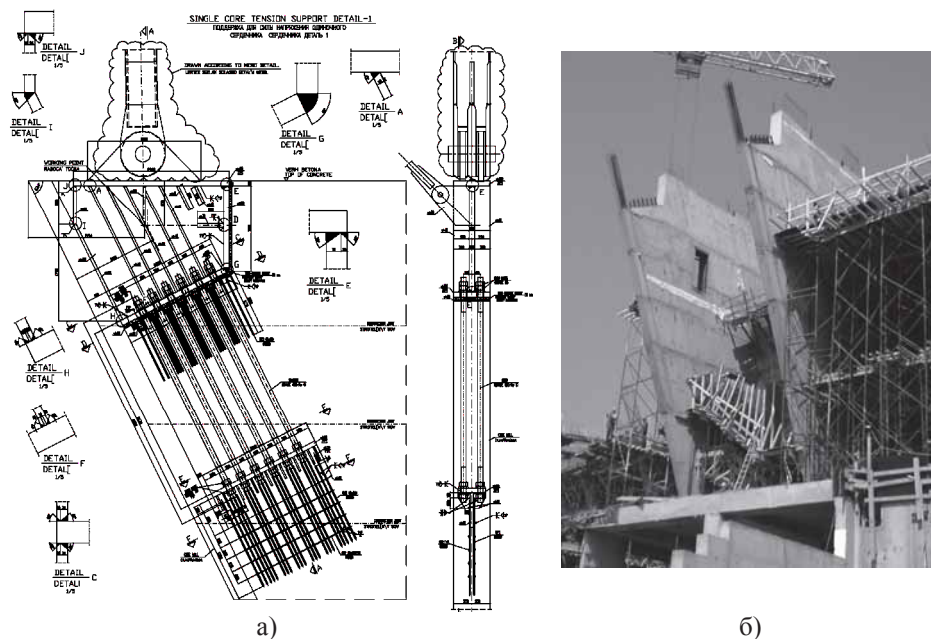


Рис. 2. Опорный узел ферм покрытия:

а – конструктивная схема узла, б – монтаж железобетонного основания опорного узла

При решении обозначенного вопроса следует особое внимание уделить контролю качества узловых соединений и их напряженного состояния. Так, например, в ходе проектирования покрытия «Донбасс-Арены» были разработаны уникальные конструктивные решения монолитных железобетонных

бетонных пилонов для опирания несущих конструкций покрытия, для которых в недостаточной степени реализованы вопросы контроля совместной работы несущей арматуры и бетона. На данные конструкции попадают все нагрузки и воздействия от покрытия стадиона. В связи с этим при разработке и эксплуатации системы мониторинга для строительных конструкций «Донбасс-Арены» необходимо было бы осуществлять учет и контроль состояния оголовков железобетонных пилонов в местах опирания основных несущих конструкций покрытия.

На II-м этапе работ необходимо создание системы *on-line* контроля напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций сооружения.

Целесообразнее всего на данном этапе выполнить следующие работы:

- а) установка и апробация датчиков *on-line* системы контроля значений деформаций в характерных элементах и перемещений узлов;
- б) контроль состояния элементов сооружения и физико-механических характеристик материалов, выполняемый при проведении плановых текущих осмотров;
- в) проведение периодических динамических испытаний сооружения для определения его интегральных динамических характеристик.

Исходя из большого опыта работ ДонНАСА по исследованию строительных конструкций, в частности олимпийских сооружений Москвы-80, следует отметить, что на данном этапе работ при разработке и эксплуатации системы мониторинга особое внимание следует уделить исследованию работы элементов соединений конструкций на высокопрочных болтах.



Рис. 3. Пространственная консольная ферма покрытия

Результатом II-го етапу робіт являється створення системи моніторингу технічного стану основних несущих конструкцій споруди.

На III-м етапі робіт – безпосередня експлуатація системи *on-line* контролю напружено-деформованого стану основних несущих конструкцій споруди службою експлуатації об'єкта і спеціалізованими організаціями – здійснюється накоплення бази даних про фактичні навантаження і впливи, дефекти і пошкодження конструкцій, осадки і зміни положення споруди і характеристик матеріалу. При цьому виконується постійний контроль значень деформацій в характерних елементах і переміщень в вузлах (раніше вибраних), порівнюваних з критичними значеннями.

Формування і накоплення бази даних про фактичні навантаження і впливи пропонується здійснювати з допомогою розробленого ДонНАСА автоматизованого метеопоста (рис. 4), експлуатуваного на ряду об'єктів Національної енергетичної компанії «Укренерго» в Одеській, Тернопільській і Хмельницькій областях.



Рис. 4. Загальний вигляд окремих складових метеопоста MARK 60

Реалізацію системи моніторингу рекомендується виконувати в відповідності з наведеною нижче блок-схемою.

В наші часи співробітниками ДонНАСА ведуться роботи по адаптації вказаних принципів створення системи моніторингу до будівельних конструкцій «Донбас-Арена» в м. Донецьку і реконструйованого НСК «Олімпійський» в м. Києві.



Рис. 5. Блок-схема выполнения расчета конструктивной схемы покрытия

Литература

- [1] ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – Київ. 2006 р.
- [2] ДБН В.1.2-5:2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів / Мінрегіонбуд України. – Київ. 2007 р.
- [3] ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування / Мінрегіонбуд України. – Київ. 2006 р.
- [4] В.В. Алешин и др. Покрытие большой спортивной арены стадиона «Лужники» г. Москва / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: изд. «Фортэ», 1998. – 144 с.
- [5] Горохов Е.В., Муцанов В.Ф., Кинаш Р.И., Шимановский А.В., Лебедич И.Н. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов (2-е изд., исправленное и дополненное) / Под общей редакцией Е.В. Горохова и А.В. Шимановского. – Макеевка, РИО ДонНАСА, 2008. – 404 с.
- [6] Е.В. Горохов, В.Ф. Муцанов, В.Р. Касимов, Я.В. Назим, С.Г. Кузнецов, В.Н. Васылев. Мониторинг сложных технических систем // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2008. – Том 14, № 4. – С. 300 – 313.
- [7] П.Г. Еремеев. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. – Том 2, № 1. – С. 5 – 15.

Надійшла до редколегії 15.06.2010 р.