



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

N4, ТОМ 14 (2008) 299-313

УДК 624.042

(08)-0176-1

МОНІТОРИНГ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Є.В. Горохов, В.Ф. Мущанов, В.Р. Касімов, Я.В. Назім, С.Г. Кузнєцов, В.М. Василев

Донбаська національна академія будівництва і архітектури,

вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.

E-mail: ksv@dgasa.dn.ua

Отримана 20 жовтня 2008; прийнята 27 жовтня 2008

Анотація. В статті розглянуто питання особливостей реалізації моніторингу складних технічних систем у вигляді унікальних конструкцій стаціонарних покриттів над трибунами стадіонів, опор ліній електропередавання, висотних будівель, що зводяться, в тому числі, в умовах існуючої забудови. Для стаціонарних велико прольотних покриттів над трибунами стадіонів на підставі різних ідеологічних підходів до створення таких систем (наприклад, БСА «Лужники»), запропонована власна оригінальна схема моніторингу, що узагальнює в собі як поточні, так і довгострокові автоматизовані виміри параметрів напружено-деформованого стану, навантажень та впливів в режимі «on-line», дані яких служать підставою для розробки моделей зміни показників надійності в часі для споруди, що експлуатується. Для повітряних ліній електропередавання приведені відомості про розроблену систему моніторингу ожеледно-вітрових навантажень, основним компонентом якої є автоматизований ожеледно-вітровий метеопост. Також в статті надається опис структури та принципів роботи вдосконаленого ожеледно-вітрового метеопоста, який у цей час знаходиться на стадії впровадження в НЕК «Укрэнерго». Для висотних будівель наведені результати натурних повномасштабних досліджень вітрових навантажень, що виконані з використанням розробленого електронно-обчислювального комплексу, в основу яких покладено програму дренажних підходів до визначення коефіцієнтів тиску.

Ключові слова: моніторинг, покриття над трибунами стадіонів, опори ліній електропередавання, висотні будівлі.

МОНИТОРИНГ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.В. Горохов, В.Ф. Мущанов, В.Р. Касимов, Я.В. Назим, С.Г. Кузнецов, В.Н. Васылев

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,

ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.

E-mail: ksv@dgasa.dn.ua

Получена 20 октября 2008; принята 27 октября 2008

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы особенностей реализации мониторинга сложных технических систем в виде уникальных конструкций стационарных покрытий над трибунами стадионов, опор линий электропередач, высотных зданий, возводимых, в том числе, в условиях существующей застройки. Для стационарных большепролетных покрытий над трибунами стадионов на основе различных идеологических подходов к созданию таких систем (например, БСА «Лужники») предложена собственная оригинальная схема мониторинга, сочетающая в себе как текущие, так и долгосрочные автоматизированные измерения параметров напряженно-деформированного состояния, нагрузок и воздействий в режиме «on-line», данные которых служат основой для разработки моделей изменения показателей надежности эксплуатируемого сооружения во времени. Для воздушных линий электропередачи приведены сведения о разработанной системе мониторинга гололедно-ветровых нагрузок, основным компонентом которой является автоматизированный гололедно-ветровой

метеопост. Также в статье приводится описание структуры и принципов работы усовершенствованного гололедно-ветрового метеопоста, который в данное время находится на стадии внедрения в НЭК «Укрэнерго». Для высотных зданий приведены результаты натурных полномасштабных исследований ветровых нагрузок, выполненных с использованием разработанного электронно-вычислительного комплекса, в основу которых положена программа дренажных опытов определения коэффициентов давления.

Ключевые слова: мониторинг, покрытия над трибунами стадионов, опоры линий электропередачи, высотные здания.

MONITORING OF COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

E.V. Gorokhov, V.F. Muschanov, V.R. Kasimov, Ya.V. Nazim, S.G. Kuznetsov, V.N. Vasylev

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.

E-mail: ksv@dgasa.dn.ua

Received 20 October 2008; accepted 27 October 2008

Abstract. The article is devoted to the peculiarities of monitoring of complex engineering systems in the form of unique designs of stationary coverings over stadium stands, power line towers, high buildings including those which are being erected within an existing housing. For stationary long-span coverings over stadium stands on the basis of various ideological approaches to the development of such systems (e.g., BSA «Luzhniki») there is suggested our own original monitoring scheme which comprises both current and long-term automated measurements of the stress-strain condition parameters, loads and effects in the “on-line” mode, the data of which are the basis for changing indices in the reliability of the operating facilities. For over-head power lines there are given the data on the developed system of monitoring ice-wind loads, the main feature of this system is an automated ice-wind meteo-post. There is also described a structure and operation principles of the improved ice-wind meteo-post which is now being implemented in the NEC «Ukrenergo». For high-rise buildings there are given the results of full-scale studies of wind loads performed with the use of the developed electronic complex, these studies were based on the program of drainage experiments of determining pressure factors.

Keywords: monitoring, covering over stadium stands, power line towers, high-rise buildings.

Введение

Большое количество аварий и обрушений, произошедшие за последние годы (купол «Трансвааль-парка» в Москве (2004г.), секции аэропорта во Франции (Париж, 2005 г.), кровля бассейна в г. Чусовой Пермского края (2005 г.), кровля катков в Германии и Австрии (2006г.), Басманного рынка в Москве (2006 г.)) поднимают вопросы контроля технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений на одно из первых мест в системе комплексной безопасности функционирования строительных объектов. Почему тема мониторинга ответственных строительных сооружений является актуальной и востребованной? Ответ на этот вопрос может частично дать приведенный ниже перечень причин:

1. Разработка проекта и конструктивных особенностей уникальных сооружений, как правило, основывается на опыте и инженерном «чутье» проектировщика, и применение наработанных навыков не всегда даёт точное представление о расчётной модели. При этом использование традиционных для обычных конструкций упрощающих гипотез, используемых при формировании математической модели, в совокупности с неоднозначностью и неопределённостью величин нагрузок, действующих на уникальные сооружения, зачастую неблагоприятно сказываются на конечной точности результатов расчёта, и недостаточной его адекватности действительному напряженно-деформированному состоянию конструкции.

2. Несовершенства, дефекты и повреждения несущих элементов сооружения, имеющие место при изготовлении, транспортировке и монтаже, незначительное, на первый взгляд, несоответствие конечной геометрии сооружения идеализированной проектной конфигурации, которые для традиционных конструкций не имели бы существенного значения, для сооружений с уникальными параметрами приводят к возникновению существенных дополнительных усилий и перемещений.
3. Изменение механических характеристик применяемых материалов (процессы старения, релаксация, ползучесть и др.), эксплуатационных факторов, геологических условий, протекающих во времени, приобретают серьезное звучание в связи со значительным нормативным сроком службы таких сооружений.

В последнее время в России вопрос мониторинга строительных конструкций не стоит на месте, быстрыми темпами разрабатывается нормативная база, например:

- ГОСТ Р 22.1.12 - 2005 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования.
- МРДС 02-08 Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных.
- МГСН 4.19-2005 Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.

- МГСН 2.07-97 Основания, фундаменты и подземные сооружения.
- СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты.
- СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений.
- Рекомендации по проектированию и устройству оснований и фундаментов при возведении зданий вблизи существующих в условиях плотной застройки в г. Москве (Приняты и введены в действие указанием Москомархитектуры от 13 января 1999 года №2).

В нашей стране нормативная база по системам мониторинга уникальных сооружений в данный момент находится в стадии разработки. Украинские нормы [1] пока не регламентируют особенностей мониторинга уникальных сооружений. Вместе с тем в настоящее время эта проблем встает особенно остро в связи с появлением множества уникальных, архитектурно и конструктивно сложных сооружений, возводимых, в том числе, к ЕВРО-2012. К ним следует, прежде всего, отнести спортивные сооружения «Арена-Днепр» (рис 1.а) [7, 10], сданный недавно в эксплуатацию, и «Донбасс-арена» (рис. 1.б), сдача которого в эксплуатацию запланирована в 2009 г. При всей своей уникальности данные объекты не оснащены современными системами мониторинга и диагностирования, хотя вопросы обеспечения безопасной эксплуатации конструкций в течение всего их жизненного цикла являются неотъемлемыми требованиями, которые УЕФА предъявляет к сооружениям такого класса.

Если перейти к рассмотрению высотных зданий, то во многих городах мира, особенно

а)



б)



Рис. 1:

а – стадион «Днепр» (Днепропетровск, Украина),
б – стадион «Донбасс-Арена» (Донецк, Украина).

столичных, принято иметь высокотехнологичные высотные сооружения, формирующие запоминающийся облик и создающие акценты городских застроек. Высотные сооружения – это современный стиль жизни города, экономия его дефицитных территорий, повышение эффективности бизнеса. Современное развитие экономики Украины создает условия для массового строительства таких объектов. Конструктивные и расчетные параметры основных несущих элементов высотных сооружений большей частью зависят от ветрового нагружения. И искусство аэродинамики состоит в превращении городской аэродинамической ситуации в данные, которые могут быть использованы в проектировании. Это требует высокой степени апробации получаемых результатов. В настоящее время многими исследователями накоплено большое количество различных экспериментов по изучению ветровых нагрузок на высотные сооружения, полученные на основе масштабных испытаний в аэродинамической трубе. Результаты экспериментов, как правило, отражают частную форму и расположение высотных сооружений.

Для высотных инженерных сооружений большую роль в оценке эксплуатационной надежности, долговечности и безопасности конструкций играют натурные обследования, испытания и длительные наблюдения сооружений [195, 16]. Это позволяет обоснованно диагностировать состояние конструкций и в необходимых случаях разрабатывать мероприятия по повышению их надежности. И поэтому мониторинг специальных сооружений получает все более широкое распространение для оценки их состояния в процессе эксплуатации.

В самом обобщенном смысле мониторинг конструкций – это наблюдение, анализ и прогноз. При этом наблюдение предусматривает инструментальное и визуальное описание параметров нагрузок и воздействий различной природы, а также статическое и динамическое поведение сооружения в целом и отдельных его элементов в пространстве реальных нагрузок и воздействий. Поведение в данном случае трактуется как реакция конструкций на внешние воздействия. Анализ предполагает сравнение фактических параметров нагрузок и воздействий в реальных условиях эксплуатации с их

расчетными значениями. Это необходимо для уточнения обеспеченности внешних воздействий и достоверности расчетных схем. Составленный на основе наблюдений и оценок прогноз состояния конструкций имеет особое значение в мониторинге. Он позволяет обоснованно судить об остаточном ресурсе конструкций и в необходимых случаях активно влиять на повышение надежности в процессе эксплуатации. Достоверность прогноза обуславливается качеством программы наблюдений, оснащения приборами и аппаратурой, средств обработки и анализа результатов наблюдений.

Основная часть

Мониторинг уникальных спортивных сооружений

Пример реализации системы мониторинга и диагностирования конструкций можно увидеть на стационарном большепролётном покрытии БС арены «Лужники». Основными направлениями работы системы мониторинга являются: систематическое освидетельствование и приемочный контроль всех смонтированных конструкций, контроль напряженного деформированного состояния основных конструкций покрытия. Диагностирование и мониторинг большепролётного пространственно-стержневого покрытия разбит на три этапа [2, 8]:

- 1^й этап - осуществлялся на стадии монтажа (контроль качества сварных, болтовых соединений, качества изготовления элементов);
- 2^й этап - на стадии раскручивания конструкций покрытия;
- 3^й этап - стадия эксплуатации (определение поверхностных деформаций основных несущих элементов и определение перемещений основных узловых точек покрытия).

Для измерения деформаций применены механические деформометры ТМИ на базе индикаторов часового типа и электромеханические струнные тензометры. Производились замеры толщины снегового покрова и его массы. Схема размещения измерительных приборов и контрольных точек, в которых методами геодезии определяются перемещения, приведены на рис. 2, 3.

Если рассмотренный вариант базируется на измерении деформаций, то примером другого

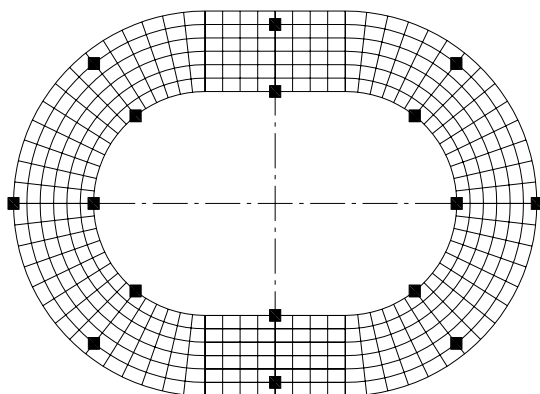


Рис. 2. Схема расположения контрольных точек.

подхода к реализации системы мониторинга большепролетных покрытий спортивных сооружений, разрабатываемого под руководством д.т.н., проф. П.Г. Еремеева (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Россия), используемого при диагностике мембранного покрытия Крытого катка в Коломне (Россия), стадиона «Локомотив» в Черкизове (Москва, Россия), является рассмотрение в качестве интегральной характеристики состояния системы *данных периодически осуществляемых геодезических съемок*, которые позволяют с одной стороны оценить конфигурацию сооружения, с другой – отследить динамику поведения системы во времени, переходя при необходимости к вычислению усилий в ее основных элементах по данным зафиксированных перемещений [6].

При всей корректности и уникальности примененных (выше приведенных) систем диагностирования и мониторинга их основным недостатком является то, что они не имеют системного подхода сбора, обработки и анализа информации о нагрузках, усилиях и перемещениях, которые своей конечной задачей ставили бы создание прогнозной модели изменения показателей надежности сооружения во времени и, не имея функций режима «on-line», не позволяют службе эксплуатации в случае наступления экстремальных ситуаций оперативно реагировать на изменение обстановке.

Основой для глубокого понимания специфики функционирования большепролетных пространственных покрытий спортивных сооружений послужил комплекс работ по оценке

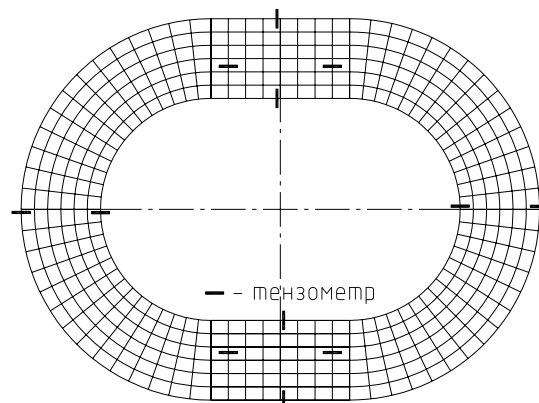


Рис. 3. Схема расположения тензометров ТМИ.

технического состояния, обеспечению надежности и разработке мероприятий по дальнейшей эксплуатации уникальных объектов Олимпиады-80 в Москве (спорткомплекса «Олимпийский» на пр. Мира (Крытого стадиона и плавательного бассейна), Универсального спортивного зала «Измайлово», футбольно-легкоатлетического комплекса и Универсального спортивного зала ЦСКА), выполняемый специалистами Донбасской государственной академии строительства и архитектуры совместно с ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и МНИИТЭП в рамках программы 0.55.01.121 с 1984 по 1992 гг. Результатом этих работ стало:

- создание базы и статистический анализ данных о геометрических отклонениях и прочностных свойствах использованного металлопроката; геометрических несовершенствах, обусловленных примененным методом монтажа; фактическими данными постоянных и временных нагрузок; годичном температурно-влажностном режиме эксплуатации; величинах коррозионного износа основных несущих конструкций; дефектах и повреждениях эксплуатируемых конструкций;
- выполненная оценка эксплуатационной надежности обследованных сооружений с последующей разработкой рекомендаций по обеспечению дальнейшей нормальной эксплуатации покрытий.

Осмысление представленных выше результатов в совокупности с анализом состояния вопроса мониторинга уникальных покрытий спортивных сооружений [7, 9, 10, 11, 13, 14]

позволило приступить к созданию собственных подходов [3, 4, 5] к оценке технического состояния и прогнозированию показателей надежности этих сложных конструкций. В результате сотрудниками академии была предложена система мониторинга и диагностирования конструкций покрытия стадиона «Донбасс-Арена», строительство которого заканчивается в настоящее время в Донецке, и который по ожиданиям должен быть причислен к классу стадионов «Элит».

Основной особенностью предлагаемой системы мониторинга является ее *комплексный характер*, базирующийся на фиксации изменений планово-высотного положения основных элементов конструкции, параметров их напряженно-деформированного состояния при синхронной фиксации соответствующих нагрузок и воздействий, данных об изменениях физико-механических свойств материала конструкции. Весь цикл проведения работ по мониторингу уникального покрытия предлагается осуществить в 3 этапа:

I – фиксирование и анализ начального состояния конструкций, подготовленных к сдаче в эксплуатацию

Состав 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 и несовершенствах

конструкций, допущенных при изготовлении и монтаже). Так, например, в качестве приборов для измерения деформаций предусматривается применение волоконно-оптических датчиков (рис. 4);

- б) выполнение перерасчетов смонтированных конструкций на действие фактических нагрузок и воздействий с учетом фактической пространственной геометрии, сечений, начальных дефектов и несовершенств;
- 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 основных несущих конструкций.

Результат:

- а) создание паспорта 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.

II – создание системы on-line контроля напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций сооружения

Состав работ:

- а) установка и апробация датчиков on-line системы для контроля значений деформаций в характерных элементах и перемещений в узлах;

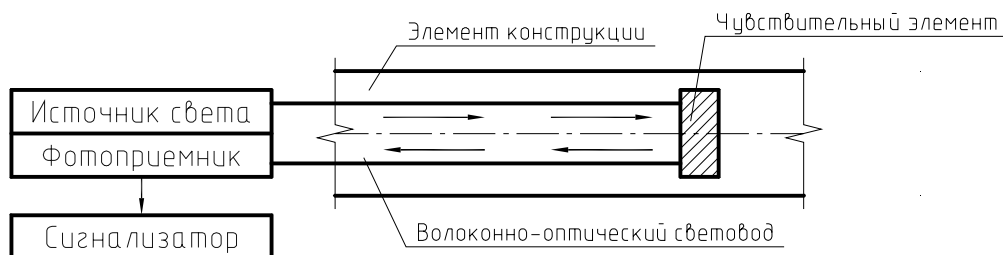


Рис. 5. Волоконно-оптический датчик.

- 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.
- Результат: создание системы мониторинга технического состояния основных несущих конструкций сооружения.

III – эксплуатация системы on-line контроля напряженно-деформированного состояния основных несущих конструкций сооружения службой эксплуатации стадиона и специализированной организацией

Состав работ:

- а) накопление базы данных о фактических нагрузках и воздействиях, дефектах и повреждениях конструкций, осадках и изменении положения сооружения, изменении характеристик материала;
- б) постоянный контроль значений деформаций в характерных элементах и перемещений в узлах, сравниваемых с критическими значениями.

Результат: наличие необходимой базы данных для обоснованного прогнозирования изменения надежности сооружения с течением времени и заключения о возможности его дальнейшей эксплуатации.

Планируемый срок выполнения работ по созданию системы должен составить **18 месяцев**.

Мониторинг высотных зданий

Хорошей проверкой модельных экспериментов в аэродинамической трубе может стать полномасштабные изучения ветровых воздействий в натурных условиях. До настоящего времени по ряду объективных причин имеется небольшое количество работ по определению ветровых нагрузок на полномасштабные объекты. Комплексное изучение и сопоставление данных модельных и натурных экспериментов позволило бы получить инженерную информацию о формировании ветровых потоков в городской среде, определения ветровых нагрузок как на высотное здание, так и его влияние на рядом расположенные малые и большие здания или сооружения.

В основу натурных измерений давлений ветра положена программа модельных дренажных экспериментальных исследований [15], которая предусматривает определение величин безразмерных коэффициентов давления C_p в исследуемых точках.

Коэффициенты ветрового давления на внешних поверхностях высотного сооружения рассчитываются в соответствии с выражением:

$$C_p = 1 - \frac{\Delta P_i}{q_\infty},$$

где ΔP_i – избыточное давление в исследуемой точке относительно атмосферного давления; q_∞ – скоростной напор воздуха над исследуемым объектом, который определяется как V_∞ – скорость свободного ветрового потока.

С целью обоснования расположения анемометра над объектом исследования и датчиков давлений перед проведением полномасштабного мониторинга проводятся масштабные аэродинамические испытания в трубе, где изучаются особенности обтекания. Здесь особенно важно выявить для анемометра высоту невозмущенного ветрового потока. Идеальная высота расположения анемометра зависит от $d_{эко}$, т.е. поперечного сечения и геометрической формы сооружения [16, 17].

Для проведения натурных исследований создан электронно-вычислительный комплекс, который бы позволил исследовать ветровые нагрузки в полномасштабных условиях. Для фиксирования ветрового давления используются малогабаритные датчики давления, закрепленные на поверхностях сооружений.

Все датчики соединены с одной общей электронно-вычислительной системой сбора, обработки и отображения информации. Система состоит из минимально необходимого ядра и переменного количества измерительных каналов и каналов управления. Относится к классу систем с распределенными параметрами с удаленным доступом. Система может производить опрос массива удаленных датчиков с заданной дискретностью квантования в темпе изменения контролируемых параметров и выдавать адекватные управляющие воздействия по соответствующим каналам. Периодичность опроса датчиков 8 Гц при 1 и 5 минутном осреднении

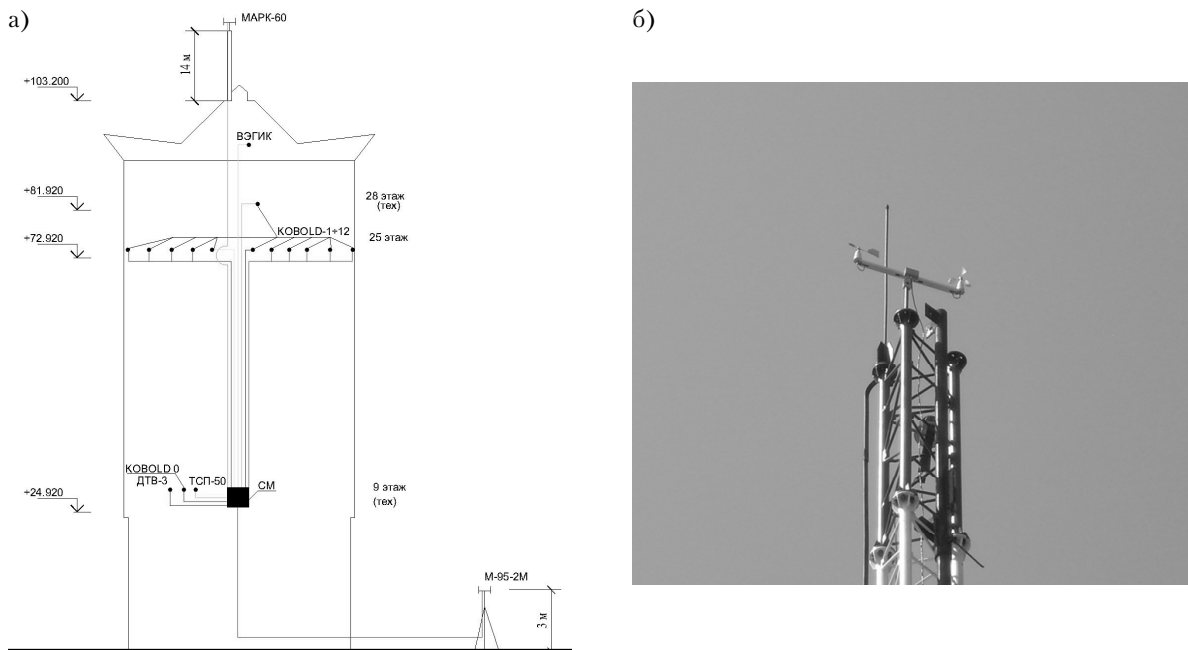


Рис. 5. Пример проведения натурного измерения ветровых воздействий: а – схема расположения датчиков и приборов на испытываемом объекте; б – размещение метеопоста над кровлей исследуемого объекта.

накопленной информации. Все информационные потоки имеют графическое и табличное представление в компьютере. Результаты измерений выдаются в виде средних, среднеквадратических отклонений, максимальных и минимальных коэффициентов давления с фиксированием направления ветрового потока. Архивирование данных производится с периодичностью, задаваемой пользователем. Возможна эвакуация данных во внешние пакеты пользовательских программ. Система работает под управлением инструментального операционного программного модуля, допускающего оперативное переконфигурирование функций в зависимости от специфики решаемой задачи. Пример проведения натурного измерения ветровых воздействий приведен на рис. 5.

В метеопост входит чашечный электронный анемометр, предназначенный для преобразования скорости и направления ветра в частоту следования и фазовый сдвиг последовательно-сти электрических импульсов.

Малогабаритный датчик давления выполнен в виде кремневого элемента, обеспечивающего очень точный и линейный выход напряжения, прямопропорционального приложенному

давлению. Это стандартный, дешевый, без компенсации датчик разрешает изготовителям проектировать и добавлять их собственную внешнюю компенсацию температуры и сигнала, обуславливающие сеть подключения. Методы компенсации упрощены в результате предсказуемости отдельного проекта шаблона напряжения элемента и требуют проведения калибровки.

Мониторинг опор ЛЭП

а) схема полигона на Полигоне опор ВЛ и башенных конструкций

Теоретические и экспериментальные исследования по разработке новых опор высоковольтных линий (ВЛ) с учетом международных стандартов, а также их производство и монтаж невозможны без проведения натурных испытаний опытных образцов. Украинский Полигон испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений, введенный в работу в мае 1997 года, предназначен для проведения статических и динамических испытаний [199]. Полигон включает испытательный стенд и вспомогательные сооружения (рис. 6).

Полигон представляет собой уникальное инженерное сооружение. В Украине это первый полигон и на сегодняшний день остается вторым среди стран СНГ и 13-м в мире. При разработке проекта Полигона учитывались тенденции развития электросетевого строительства и возможность расширения его технических возможностей. По большинству технических показателей Полигон ДонНАСА превышает крупнейшие полигоны Азии (AL-Batain Industries Tower Testing Station, Саудовская Аравия) и Европы (Tower Research And Testing Center (CIET, Испания).

б) автоматизированный комплекс управления испытаниями

Система управления испытаниями опор во многом определяет технические возможности выполняемых на Полигоне работ и их качество. Основными задачами, которые решаются этой системой во время проведения испытаний, являются: управление процессом равномерного нагружения испытываемой опоры; нагружение опоры до проектного значения с прохождением промежуточных этапов; максимальное сокращение продолжительности схемы нагружения.

Сложность решения задачи управления процессом нагружения испытываемой опоры состоит в том, что все нагрузки, которые прикладываются к опоре, являются взаимосвязанными, т.к. изменение одной нагрузки приводит

к общей деформации опоры, а это способствует изменению иных нагрузок.

Учитывая результаты анализа систем нагружения и управления процессом нагружения опор во время испытаний, а также опыт эксплуатации других полигонов при проектировании Полигона ДонНАСА, была разработана схема управления с помощью автоматизированного комплекса персональными ЭВМ, в который входят подсистемы: подготовки программы испытаний (схемы нагружения, размещения электрических динамометров, углов подвода тросов натяжных устройств); тарирования электрических динамометров; контроля и тестирования контрольно-измерительных приборов; управления испытаниями; вывода результатов испытаний.

Все подсистемы взаимосвязаны и используют единую базу данных. Такая схема управления процессом испытаний дала возможность при минимальных материальных затратах на оснащение создать эффективный испытательный стенд, позволяющий подвергнуть испытаниям уникальные опоры линий электропередачи. С 1997 по 2008 год на Полигоне были выполнены сертификационные испытания опор высотой от 15 до 62 м и весом до 64 т для поставок в Египет, Сирию, Исландию, Турцию, Ирак, Китай, Казахстан, Россию и др.

в) определение параметров ветрового воздействия и реакции сооружения

Для решения задач динамических испытаний разработана и апробирована на Полигоне и ряде промышленных объектов универсальная мультипараметрическая информационно-измерительная система (УСМК-1) [199, 200, 22], предназначенная для мониторинга воздействия ветра на сооружение и оценки ее реакции. Отличительной особенностью аппаратной реализации является ориентация на конструктивы IBM-подобных персональных компьютеров. Аппаратное и программное обеспечение системных модулей ЭВМ позволили на их основе разработать многоканальную систему сбора измерительной информации с приемлемыми для практического использования характеристиками. При этом открытость архитектуры ПК определила открытость системы. В базовой

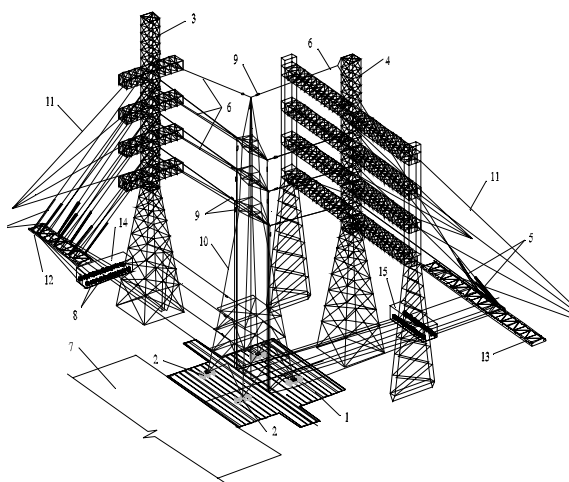


Рис. 6. Схема полигона испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений.

конфигурации система включает в себя ЭВМ, адаптер внутримодульного интерфейса (АВМИ), подключенный к системной шине. К АВМИ подключается измерительный модуль, содержащий в себе универсальный управляемый усилитель, а также коммутаторы сигналов и 64-канальный тензометрический усилитель. Структура коммутаторов аналоговых сигналов, а также технические параметры управляемого усилителя обеспечивают возможность подключения к системе разнообразных первичных измерительных преобразователей. Среди них – измерители вибрационной скорости ВЭГИК, тензометрические динамометры, акселерометры и др. Для обеспечения измерения скорости ветра в частотном диапазоне, совместимом с диапазоном частот колебаний башен ВЛ, применен термоанемометр, оптимизированный для использования в условиях открытой атмосферы.

г) измерение метеопараметров среды эксплуатации ВЛ

Согласно проведенных в Украине и за рубежом исследований, более 50% аварий на воздушных линиях электропередачи происходит в результате гололедно-ветровых воздействий. Это обусловлено тем, что именно наличие гололеда на проводах и конструкциях опор в сочетании с сильным ветром приводит к резкому увеличению статических и динамических нагрузок на ВЛ. В то же время на ВЛ высокого напряжения имеется средство борьбы с обледенением – плавка гололеда токами короткого замыкания. Но при этом отсутствие информации о начале гололедообразования, погонной гололедной нагрузке на провод, скорости и направлении ветра, обуславливает низкую оперативность принятия решений о проведении антигололедных мероприятий, что приводит к авариям на ВЛ.

Поэтому в последнее время в таких странах как Россия, Чехия, Швеция, Финляндия, Япония и др. ведется разработка и внедрение автоматизированных информационных систем контроля гололедно-ветровых нагрузок на воздушные линии электропередачи [24, 25, 26, 27].

Сложность реализации измерений и существенные разбросы гидрометеорологических параметров, в первую очередь гололедно-изморозевых отложений (ГИО) [23], в зависимости

от топографических условий местности, района и высоты расположения объекта над уровнем земли обусловили необходимость создания ведомственной сети энергетических компаний для мониторинга климатических параметров.

Для получения подобной информации о гололедообразовании, место расположения метеопостов должно соответствовать местам концентрации воздушных линий электропередачи. На первом этапе данные измерения предполагается проводить путем установки метеопостов на подстанциях, однако в дальнейшем, при необходимости, возможна постановка автоматизированных метеопостов непосредственно на линиях.

Масса гололедных отложений существенно зависит от угла атаки гололедонесущего ветрового потока, следовательно, для получения данных о максимально возможном гололедообразовании в данных условиях необходимо ориентировать имитатор провода перпендикулярно к потоку, причем во избежание технических трудностей данный процесс должен быть автоматизированным и управляемым. Эти решения были реализованы при разработке экспериментальных автоматизированных гололедно-ветровых метеопостов (АГВМП) [21, 22]. После апробации в 2004 году на территории Полигона ДонНАСА экспериментальной модели АГВМП было установлено первые 4 метеопоста в системе НЭК «Укрэнерго» в Одесской, Тернопольской и Хмельницкой областях.

Опыт эксплуатации этих метеопостов в реальных условиях выявил ряд проблем, связанных с аттестацией средств измерений, а также с точностью измерений вследствие чего в начале 2008 года были проведены работы по совершенствованию системы. В связи с модернизацией информационно-управляющих систем энергоснабжающих компаний Украины с целью выполнения условий интеграции датчиков измерения метеопараметров в КП телемеханики «Корунд-М» для последующей передачи информации в едином протоколе на диспетчерский пункт, а также выполнения условий метрологической аттестации оборудования были внесены изменения в структурную схему АГВМП.

Структурная схема метеопоста приведена на рис. 7.

Создан метеопост по агрегатно-блочному принципу из законченных функциональных

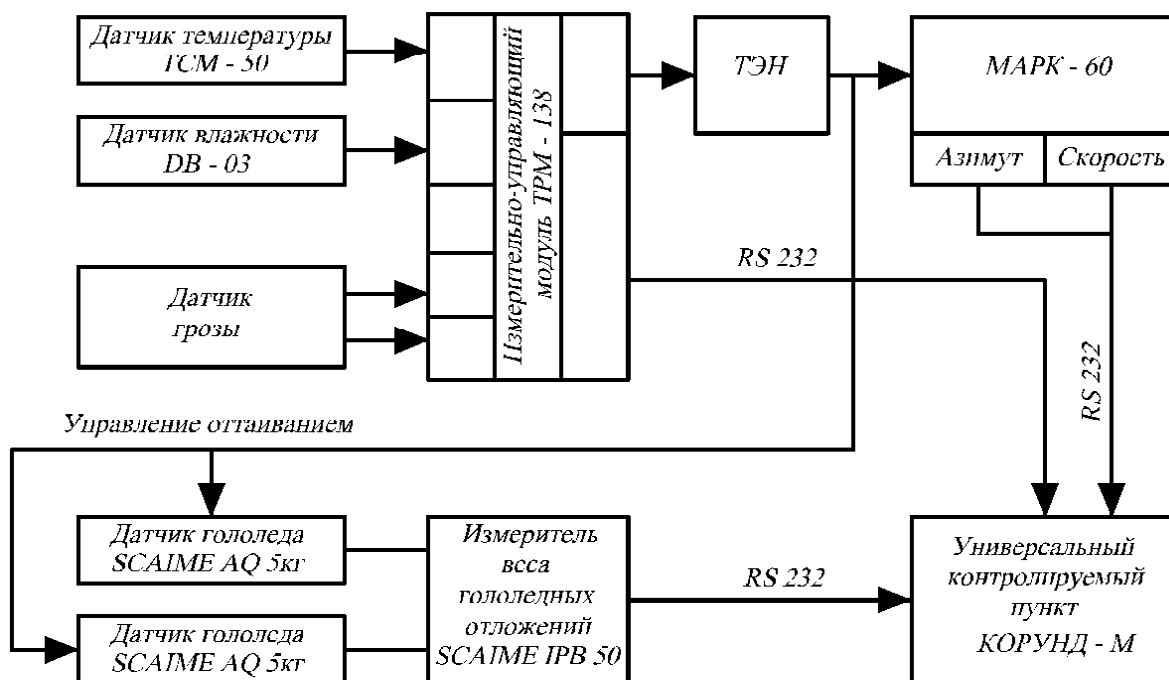


Рис. 7. Структурная схема метеопоста.

модулей, каждый из которых можно рассматривать как отдельное средство измерения, интегрированное в единую автоматизированную систему мониторинга параметров процесса в реальном масштабе времени:

1. Анемометр-рубометр МАРК-60АФ в анти-гололедном исполнении (рис. 8,а).
2. Многоканальный универсальный измерительно-управляющий периферический процессорный модуль ТРМ138Р с датчиками для определения температуры и влажности. Кроме того, он фиксирует приближение грозового фронта по данным от датчиков от электромагнитного импульса и акустического датчика, управляет процессом оттаивания с помощью включения подогрева ТЭН, фиксирует момент начала обледенения, анализируя пороговое значение сигнала от датчика веса гололеда.
3. Измеритель веса гололедных отложений, в состав которого входят два азимутально-рассогласованных датчика веса гололеда SCAIME AQ-5 (рис. 8,б) и измерительный модуль.

Завершается установка метеопостов на подстанциях ПС 330 кВ «Ивано-Франковская», ПС 220 кВ «Луцк-Южная», ПС 500 кВ «Победа». В рамках создания единой системы про-

гнозирования и предупреждения аварий на воздушных линиях электропередачи при действии экстремальных гололедно-ветровых нагрузок в ближайшее время планируется установка метеопостов на подстанциях ПС 330 кВ «Южно-Донбасская», ПС 330 кВ «Новокаховская», ПС 330 кВ «Шепетовка». Одновременно с созданием автоматизированной системы мониторинга метеопараметров (АСММ) в ДонНАСА ведется разработка и совершенствование методик учета климатических нагрузок на ВЛ.

Заключение

1. Для стационарных большепролетных покрытий над трибунами стадионов на основе различных идеологических подходов к созданию таких систем (например, БСА «Лужники») предложена собственная оригинальная комплексная схема мониторинга, сочетающая в себе как текущие, так и долгосрочные автоматизированные измерения параметров напряженно-деформированного состояния, нагрузок и воздействий в режиме «on-line», данные которых служат основой для разработки моделей изменения

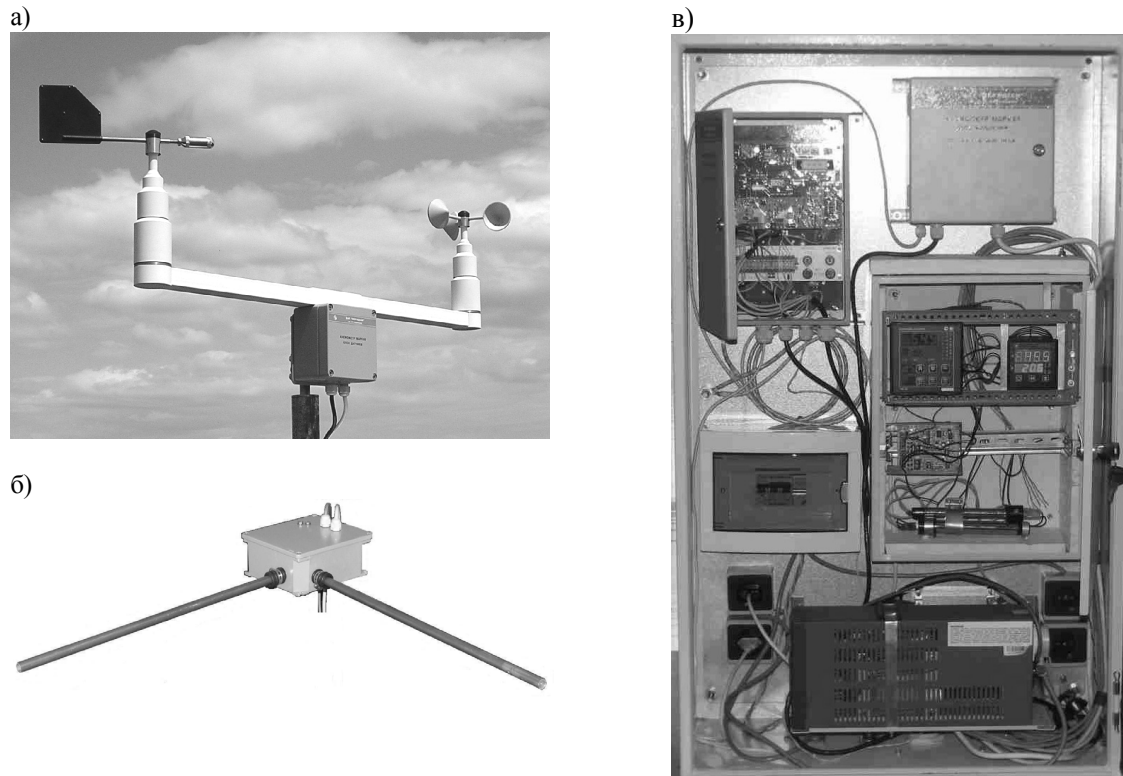


Рис. 8. Компоненты метеопоста: а – анемометр-румбометр МАРК-60АФ; б – измеритель веса гололедных отложений; в – блок управления АГВМП.

- показателей надежности эксплуатируемого сооружения во времени. Система носит универсальный характер и может быть использована для мониторинга уникальных спортивных сооружений, в том числе, возводимых к проведению ЕВРО-2012 в Украине и Польше.
2. Технической основой обеспечения безопасности эксплуатации высотных сооружений является внедрение средств контроля и диагностики. Одним из таких элементов мониторинга может стать наблюдения за ветровыми воздействиями на высотных сооружениях. Современный уровень научных разработок и технических решений позволяет уверенно говорить о возможности проведения натурных наблюдений за параметрами ветра и фиксирования ветровых нагрузок на поверхностях высотных сооружений.
 3. Разработанные подходы к мониторингу опор ЛЭП послужили надежной основой для создания ряда методик расчета и про-

ектирования конструкций, повышающих их надежность и долговечность, а именно:

- методика выбора расчетных метеостанций;
- методика подготовки и обработки данных метеостанций;
- методика определения нагрузки в какой-либо точке территории;
- методика определения зависимости климатических нагрузок от высоты месторасположения;
- методика определения гололедно-ветровых нагрузок в горной местности;
- методика определения влияния топографических условий местности на ветровую нагрузку.

Перечисленные методики нашли свое применение в главе 2.5 УкрПУЭ-2006 [28], в отраслевых нормативных документах: «Климатическое обеспечение строительства и эксплуатация электрических сетей», «Климатические нагрузки на воздушные линии электропередачи с учетом топографических особенностей».

Литература

1. ДБН В1.2-5:2007. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. – Київ, Мінрегіонбуд України, 2007. – 16 с.
2. Алешин, и др. Покрытие Большой спортивной арены в Лужниках (проектирование, научные исследования, строительство). – Москва: Фортэ, 1998. – 248 с.
3. Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Касимов В.Р. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов – Макеевка: ДонГАСА, 2002. – 280 с.
4. Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Касимов В.Р., Руднева И.Н., Сивоконь Ю.В. Развитие методов расчета и проектирования большепролетных пространственных покрытий спортивных сооружений // Сборник статей «Пространственные конструкции зданий и сооружений». Вып. 10. – Москва: МОО «Пространственные конструкции». – 2006. – С. 7-16.
5. Горохов Е.В., Мушанов В.Ф., Кинаш Р.И., Шимановский А.В., Лебедич И.Н. Конструкции стационарных покрытий над трибунами стадионов – Макеевка: ДонНАСА, 2008. – 403 с.
6. Еремеев П.Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений // Современное промышленное и гражданское строительство – 2006. – Т.2. – №1.
7. И.Н. Лебедич, Е.П. Ударцев. Аэродинамические испытания круглых в плане зданий с вогнутым сферическим покрытием // Строительная механика и расчет сооружений. №2. – 1980. – М.: Стройиздат. – С. 63-65.
8. Никонов Н. Н. Большепролетные покрытия. Анализ и оценка: Учебное пособие. Издание второе, дополненное и переработанное. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 400 с.
9. Borri C., Biagini P.: Wind response of large roofs of stadions and arena. EACWE4 – Proceedings of the Fourth European & African Conference on Wind Engineering; ITAM AS CR, Prague, 11-15 July, 2005, pp. 18-20.
10. Lebedich I.M., Pavlovsky R.M., Zhdanov O.I.: Analysis of aerodynamic features of the over-stand roof in Dnepropetrovsk FC “Dnipro” stadium. // Metal Constructions. – 2007, Volume 13. – N2 – pp.65-78.
11. Massimiliano Lazzari, Renato V.Vitaliani, Massimo Majowiecki, Anna V. Sietta. Dynamic behavior of a tensegrity system subjected to follower wind loading / Computers and Structures 81 (2003) 2199 – 2217 www.elsevier.com/locate/compstruc.
12. Teranath B.S. Wind and Earthquake Resistant Buildings Structural Analysis and Design. Marcece Dekker, Los Angeles, California, 2005, – p.882.
13. Zhu H., Smith D.A.: C-130 Tests on a Low-rise Gable Roof Building EACWE4 – Proceedings of the Fourth European & African Conference on Wind Engineering; ITAM AS CR, Prague, 11-15 July, 2005, pp. 354-355.
14. Żurański J. A.: Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążone wiatrem konstrukcje budowlane // Prace Naukowe ITB – Wydawnictwo ITB – Warszawa, 2006.
15. Горлин С.М., Слезингер И.И. Аэромеханические измерения. Методы и приборы. – М.: Наука, 1964.
16. Cochran L.S. and Cermak J.E. “Full-scale and model-scale cladding pressures on the Texas-Tech University Experimental Building”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 43 (1-3): (1992). 1589-1600.
17. Hoxey, R.P. and Richards P.J. “Full-scale wind load measurements point the way forward”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 57(2-3): (1995), 215-224.
18. Milford, R.V., Gligler A.M., and Waldeck J.L., (1992), “Jan Smuts experiment - Comparison of full-scale and wind tunnel results”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 43(1-3): 1705-1716.
19. Аэродинамика электросетевых конструкций / Е.В.Горохов, М.И.Казакевич, С.М.Шаповалов, Я.В.Назим; Под ред. Е.В.Горохова, М.И.Казакевича. – Донецк, 2000. – 336с.
20. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи / Е.В.Горохов, М.И.Казакевич, С.В.Турбин, Я.В.Назим; Под ред. Е.В.Горохова. – Донецк, 2005. – 348с.
21. Горохов Е.В., Гримуд Г.И., Жабский Ю.В., Васылев В.Н., Некрасов Ю.П. Приборное обеспечение гололедно-ветровых постов // Металеві конструкції – Макеевка, 2001. – Том 4. – №1. – с.25-30.
22. Ye. Gorokhov, Ya. Nazim, V. Vasylev, S. Kuznetsov, V. Garkusheva. Monitoring of complex design systems of special structures. The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC-2008. Selected papers (June 26–29, 2008, Vilnius, Lithuania). Vilnius: Technika, 2008. P. 306-311.
23. Справочник по климату СССР. Гололедно-изморозевые явления и обледенение проводов. – Вып.10. – К.: Гидрометеиздат, 1973. – 570с.
24. P. Lehká, J. Ľabata, Z. Zóleľóĥ. Automated icing monitoring system. International Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Brno, Czech Republic, June 17–20, 2002 – 5p.
25. Asai S. et al. Improvement of countermeasures for snow accretion. 5-th International workshop on Atmospheric Icing of Structures, 1990, Tokyo, Japan, report B7-2.
26. Yasui M. et al. Experimental study on countermeasure for snow accretion on power transmission lines 5-th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, 1990, Tokyo, Japan, report B7-1.
27. COST-727, Atmospheric Icing on Structures: 2006, Measurements and data collection on icing: State of the Art Publication of MeteoSwiss, 75, 110 pp.
28. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2 «Передавання електроенергії». Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 191 с.

Горохов Євген Васильович д.т.н., проф., працює завідувачем кафедри «Металеві конструкції», ректором Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Президент Української асоціації з металевих конструкцій, закордонний член Російської академії будівництва, Академік Академії вищої освіти та Академії будівництва України. Член Міжнародного комітету з вивчення впливу вітру на будівлі та споруди. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, кліматичні впливи на будівельні конструкції.

Мущанов Володимир Пилипович, д.т.н., проф., завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка», проректор з наукової роботи Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Академік Академії будівництва України, член-кореспондент Академії архітектури України, член Міжнародного інституту інженерів-будівельників (MEng ICE). Наукові інтереси: розробка методів розрахунку та проектування великопрольотних просторових металоконструкцій.

Касимов Вадим Равілійович, к.т.н., доц., доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: розробка методів розрахунку та проектування великопрольотних стержневих металевих оболонок.

Кузнецов Сергій Георгійович, к.т.н., доц., доцент кафедри «Архітектура промислових і цивільних будівель» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вітро-інженерія, експериментальне моделювання, вітрові навантаження на будівлі, вітровий режим навколо висотних будівель, комфорт пішохода, мікрометеорологія, зменшення небезпеки вітру, інфільтрація і теплопереніс в будівлях

Назим Ярослав Вікторович є доцентом кафедри «Металеві конструкції» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережних конструкцій, динамічні впливи на будівельні конструкції електромереж.

Василев Володимир Миколайович є доцентом кафедри «Металеві конструкції», начальником «Лабораторії Випробування Будівельних Конструкцій та Споруд». Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих конструкцій.

Горохов Евгений Васильевич д.т.н., проф., является заведующим кафедрой «Металлические конструкции», ректором Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Президент Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Иностранный член Российской академии строительства, Академик Академии высшей школы и Академии строительства Украины. Член Международного комитета по изучению воздействия ветра на здания и сооружения. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, климатические нагрузки на строительные конструкции.

Мущанов Владимир Филиппович, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», проректор по научной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Академик Академии строительства Украины, член-корреспондент Академии архитектуры Украины, член международного института инженеров-строителей (MEng ICE). Научные интересы: разработка методов расчета и проектирования большепролетных пространственных металлоконструкций.

Касимов Вадим Равильевич, к.т.н., доц., доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка методов расчета и проектирования большепролетных стержневых металлических оболочек.

Кузнецов Сергей Георгиевич к.т.н., доц., доцент кафедры «Архитектура промышленных и гражданских зданий» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: ветро-инженерия, экспериментальное моделирование, ветровые нагрузки на здания, ветровой режим вокруг высотных зданий, комфорт пешехода, микрометеорология, уменьшение опасности ветра, инфильтрация и теплоперенос в зданиях.

Назим Ярослав Викторович – доцент кафедры «Металлические конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, динамические нагрузки на строительные конструкции электросетей.

Васылев Владимир Николаевич является доцентом кафедры «Металлические конструкции», начальник лаборатории испытания строительных конструкций и сооружений». Научные интересы: изучение действительной работы металлических конструкций.

Gorokhov Yevgeny Vasil'yevich – Dr. Sc., professor, Head of Metal Structures Department, Rector of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is president of the Ukrainian Association of Metal Structures, a Foreign Member of the Russian Building Academy, a member of the High School and Civil Engineering Academies of Ukraine; a member of the International Working Committee in Wind Engineering. His research interests comprise reliability of building metal structures, climatic loads on buildings and structures.

Mushchanov Vladimir Filippovich – Dr. Sc., Professor, Head of "Theoretical and Applied Mechanics" Department, a vice-rector in scientific activity of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; an academician of the Academy of Civil Engineering of Ukraine, a corresponding member of the Academy of Architecture of Ukraine, a member of the International Institute of Civil Engineers (MEng ICE). Scientific interests: elaboration of analyses and design methods of large-span spatial metal structures.

Kasimov Vadim Ravil'yevich – Ph.D., an Ass. Prof. at "Theoretical and Applied Mechanics" Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: elaboration of analyses and design methods of large-span rod metal covers.

Kuznetsov Sergey Georgievich – Ph.D., an Ass. Prof. at the Department "Architecture of Industrial and Civil Buildings" of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: wind engineering, experimental modeling, wind loads upon buildings, wind conditions around high-rise buildings, pedestrian comfort, micrometeorology, wind hazard reduction, infiltration and heat transfer in buildings.

Nazim Yaroslav Victorovich – an Ass. Prof. at Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of the Ukrainian Association of Metal Structures. His research interests comprise operational reliability and longevity of power supply structures, dynamic loads on building structures of overhead lines.

Vasylev Vladimir Nikolayevich – an Ass. Prof. at "Metal Structures" Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Manager of the "Laboratory on Testing Building Structures". Scientific interests: study of the operational characteristics of metal structures.