

УДК 624.072.327

Юрий Семенович МАРТЫНОВ,
кандидат технических наук,
профессор

Иван Васильевич БАШКЕВИЧ,
кандидат технических наук,
доцент

Анатолий Николаевич ЖАБИНСКИЙ,
кандидат технических наук,
доцент

УЧЕБНАЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАФЕДРЫ "МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ"

EDUCATION AND SCIENTIFIC-TECHNICAL ACTIVITIES
OF THE DEPARTMENT OF METAL
AND WOOD STRUCTURES

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КАФЕДРЕ

После создания в 1919 г. суверенного государства Белоруссии были приняты меры по организации в республике высшей школы, в том числе технической. Постановлением Военно-революционного комитета БССР и Главного управления профессионально-технического образования Наркомпроса РСФСР Минское политехническое училище было преобразовано в Белорусский государственный политехнический институт, который имел в своем составе строительный факультет со специальностями "Гражданские сооружения" и "Конструктивные сооружения". Из вузов Москвы и других городов страны были приглашены на преподавательскую работу профессора и известные ученые. Основой в организации учебного процесса служили учебные планы и программы, разработанные Народным Комиссариатом просвещения РСФСР для высших технических учебных заведений. Однако в связи с тяжелым материальным положением, вызванным первой мировой войной, в 1922 г. была прекращена подготовка инженерных кадров в Белоруссии.

Подготовка инженеров-строителей в Белоруссии, по существу, началась с 1930 года. Это было время, когда в стране разворачивалось строительство промышленных предприятий, и потребность в кадрах, в частности по строительным конструкциям, была велика. Большую помощь в организации работы, укомплектовании преподавательскими кадрами, в оборудовании лабораторий и формировании библиотеки оказывали вузы России. Преподаватели по циклу дисциплин строительных конструкций входили в состав комплексных кафедр. Еще в предвоенные годы выполнялись дипломные проекты новых заводов и цехов, по экономическому обоснованию реконструкции с использованием несущих металлических конструкций.

Работа института была прервана Великой Отечественной войной и возобновилась в 1944 г. Конструкторская подготовка инженеров строительных специальностей обеспечивалась кафедрой строительных конструкций, которой в свое время заведовали к. т. н., доцент М. Е. Шавельский (выпускник Харьковского строительного института); к. т. н., доцент И. М. Ветрюк (выпускник

Ленинградского института коммунального хозяйства). С 1952 по 1972 гг. кафедру возглавлял заслуженный деятель науки и техники БССР, доцент Я. И. Дрозд (выпускник Киевского политехнического института).

На первых порах кафедра строительных конструкций не имела условий для широкой научной деятельности — не хватало соответствующих помещений, лабораторной и материальной базы. Усилия коллектива кафедры в то время концентрировались на организации учебного процесса и научных исследований, в значительной степени теоретического характера. Условия для научной работы существенно улучшились после открытия в 1960-х годах учебного корпуса строительного факультета с цехом для проведения научных исследований, строительство которого финансировалось при долевым участии Минпромстроя БССР. По мере развития материально-технической базы научные исследования стали больше носить экспериментально-теоретический характер, приближенный к запросам производства.

В 1972 г. кафедру возглавил к. т. н., доцент Т. М. Пецольд. При кафедре была создана отраслевая научно-исследовательская лаборатория строительных конструкций (ОНИЛКС). В этот период значительно активизировалась научно-исследовательская работа в области сборного железобетона, был создан значительный задел научных кадров для кафедр "Железобетонные конструкции" и "Инженерная графика".

Стимулятором роста научных исследований было открытие при кафедре в 1961 г. аспирантуры. Кафедра начала развиваться динамично и вступила в полосу интенсивной подготовки высококвалифицированных научных работников как для собственных нужд, так и для удовлетворения потребностей других вузов и производства. Подготовлено 37 кандидатов технических наук в области строительных конструкций, за счет которых в основном происходило естественное обновление состава кафедры. Этот период характеризуется плодотворной работой специалистов в области металлических конструкций к. т. н., доцента И. Л. Хаютина и в области деревянных конструкций — к. т. н., доцента И. М. Ветрюка.



Фото 1. Коллектив кафедры

2 УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС И МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА

В сентябре 1977 г. кафедра строительных конструкций переименована в кафедру металлических и деревянных конструкций после выделения из ее состава кафедры железобетонных и каменных конструкций. Со дня образования и до конца 1998 г. кафедру возглавлял профессор Ю. С. Мартынов, выпускник Белорусского политехнического института (БПИ — ныне БНТУ), с 1999 г. кафедрой заведовали к. т. н., доценты В. Ф. Фомичев и И. В. Башкевич, с 2009 г. заведующим является к. т. н., доцент А. Н. Жабинский. Все они — выпускники БПИ. В составе кафедры 15 преподавателей (1 профессор, 7 доцентов, 5 магистров) и восемь инженерно-технических работников (фото 1).

Структура учебного процесса включает лекционные, практические и лабораторные занятия по дисциплинам общинженерной и специальной подготовки, организацию учебно-производственной практики, руководство курсовым и дипломным проектированием. Кафедра обеспечивает учебный процесс по металлическим и деревянным конструкциям на строительном факультете (специальности "Промышленное и гражданское строительство" и "Экономика строительства") и факультете энергетического строительства (специальности "Гидротехническое строительство" и "Атомные и тепловые электрические станции") дневной, вечерней и заочной форм обучения. По специальности ПГС кафедра ведет



Фото 2. В учебной лаборатории испытания строительных конструкций

учебные занятия также по сварочным работам в строительстве, испытаниям конструкций и сооружений, вычислительной технике и программированию, основам автоматизации проектирования в строительстве. С 1990–1991 учебного года кафедра вела подготовку инженеров по специализации "Конструкции зданий и сооружений" и специалистов с сокращенным сроком обучения на базе выпускников техникумов.

В настоящее время кафедра является одним из ведущих научных центров и центром подготовки высококвалифицированных кадров в республике. В последние годы были значительно обновлены учебные планы и программы подготовки инженеров по всем строительным специальностям.

Наиболее активные и трудолюбивые студенты имеют возможность шире развивать свои способности, обучаясь в магистратуре, что позволяет в значительной степени индивидуализировать процесс обучения и дает возможность преподавателям вести эксклюзивную подготовку специалистов из числа способных студентов.

Кафедра располагает учебно-лабораторной базой, оборудованной техническими средствами для контроля физико-механических свойств материалов, испытания металлических и деревянных конструкций, проведения лабораторных работ по сварке, выполнения расчетов и проектирования конструкций с использованием ЭВМ. Сюда входят: лаборатория для проведения занятий по металлическим и деревянным конструкциям и испытанию сооружений (фото 2); лаборатория неразрушающих методов контроля; лаборатория сварки, оснащенная всеми видами сварочного оборудования; цех испытаний с силовым полом, позволяющий проводить исследования натуральных конструкций пролетом до 42 м. Кафедра располагает учебным классом, оборудованным современными персональными компьютерами для проведения занятий по вычислительной технике и программированию, основам автоматизированного проектирования.

Функционирует проектный кабинет с библиотечным фондом справочной, научно-технической литературы, современными техническими нормативными правовыми актами (ТНПА), в том числе и на электронных носителях.

Учебная лаборатория испытания строительных конструкций оснащена тензометрической станцией TS32L1, предназначенной для измерения деформаций в элементах строительных конструкций с помощью тензорезисторов. Станция обеспечивает до 32 тензорезисторных мостов. Связь с терминалом (компьютером) осуществляется с помощью беспроводного интерфейса Bluetooth 2.0. Возможна одновременная работа до семи станций для каждого устройства беспроводного интерфейса, подключенного к терминалу. Станция может применяться для работы в лабораторных и цеховых условиях. Результаты измерений выводятся на компьютер и печать с построением графиков напряжений. Станция TS32L1 и программное обеспечение к ней разработаны Институтом прикладной физики НАН Беларуси по заказу кафедры.

За период обучения студенты имеют возможность практического участия в проектных и научно-исследовательских работах, приобретения навыков в ведущих проектных и производственных организациях в соответствии с требованиями целевой подготовки. С 1977 г. кафедрой металлических и деревянных конструкций под-

готовлено свыше 2500 инженеров по специальности "Промышленное и гражданское строительство".

3 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Интенсивные экспериментально-теоретические исследования металлических и деревянных конструкций промышленных и гражданских зданий были начаты в 1960-х годах. Основные научные направления заложены доцентами Я. И. Дроздом, И. Л. Хаютиным, И. М. Ветрюком. Они были нацелены на разработку, исследование и внедрение эффективных конструкций на основе металла, железобетона, дерева и пластмасс. Реализация этих направлений осуществлялась по следующим основным разделам:

- предварительно напряженные металлические конструкции покрытий (И. Л. Хаютин, И. В. Башкевич, В. Г. Кравченко);

- системы, учитывающие совместную работу железобетонного настила с несущими металлическими конструкциями — сталежелезобетонные покрытия и перекрытия под большую временную нагрузку (Ю. С. Мартынов, В. Ф. Фомичев, А. Г. Вербицкий, Ю. И. Лагун, В. Е. Новиков, Е. И. Хаютин, В. Б. Сергеев);

- совершенствование конструктивных форм промышленных зданий с укрупненной сеткой колонн (И. Л. Хаютин, А. Н. Жабинский);

- эффективные конструкции на основе дерева и пластмасс — фермы покрытий из клееных элементов переменного сечения и из унифицированных элементов, стеновые панели и перегородки на основе сотовых и гофровых заполнителей из бумаги, картона, древесных плит (И. М. Ветрюк, В. Н. Головач, В. А. Иванов, В. Ф. Фомичев, Л. Ф. Березовский, А. В. Оковитый, А. И. Згировский);

- тонколистовые металлические конструкции мембранного типа — стальные панели на пролет в виде гиперболического параболоида с использованием гнутых профилей и стального профилированного настила (Е. Ю. Давыдов, Н. Л. Нестеренко);

- исследование пространственной работы каркасов из легких металлических конструкций (Ю. С. Мартынов, С. В. Шевченко);

- тонкостенные холодногнутые оцинкованные профили и конструкции на их основе (Ю. С. Мартынов, Ю. И. Лагун, В. Е. Новиков);

- тонкостенные сварные рамы переменного двутаврового сечения (Ю. С. Мартынов, Ю. И. Лагун, В. Е. Новиков).

Выполнен большой объем работ по обследованию и усилению конструкций и сооружений разнообразного назначения в процессе их эксплуатации, диагностики и реконструкции производственных и гражданских зданий и инженерных сооружений. Указанные работы осуществлялись в рамках общесоюзных, республиканских и отраслевых программ, удостоивались премий Совета Министров, медалей ВДНХ СССР.

Преподаватели кафедры являются участниками международных и республиканских научных симпозиумов, конференций, семинаров. Ежегодно проводятся студенческие научно-технические конференции.

С 1996 года на Белорусскую государственную политехническую академию возложена функция ведущего в республике высшего технического учебного заведения. Этот статус обязывает кафедру "Металлические и деревянные конструкции" активно участвовать в

организации и разработке типовых учебных планов и программ. При этом основное внимание сосредоточено на обеспечении качества подготовки инженеров-строителей широкого профиля, способных творчески решать инженерные и организационные задачи в условиях структурных и технологических преобразований в строительной отрасли, обусловленных рыночными отношениями.

3.1. Исследование поведения тонкостенных холодногнутых профилей под нагрузкой

Одним из направлений снижения стоимости малоэтажных зданий и сооружений является строительство каркасных зданий на основе легких стальных тонкостенных конструкций (далее — ЛСТК), изготавливаемых на основе тонкостенного холодногнутого оцинкованного профиля. Область массового применения этих профилей включает легкие несущие и ограждающие конструкции зданий и сооружений различного назначения (в том числе жилых). В большинстве случаев ЛСТК используются как альтернатива деревянным каркасным конструкциям зданий.

Применение ЛСТК затрагивает комплекс вопросов, один из которых — проектирование зданий и сооружений с использованием указанных конструкций. Подробное изучение данного вопроса приводит к необходимости решения ряда первоочередных задач:

- 1) разработка и введение в проектную практику ТНПА, регламентирующих проектирование и изготовление ЛСТК;

- 2) разработка типовых строительных решений ЛСТК (в том числе типовых проектов).

Решение первой задачи требует понимания работы тонкостенных холодногнутых профилей (далее — ТХП) под нагрузкой и наличия методики их расчета. Под методикой расчета в данном случае, понимаются правила оценки напряженно-деформированного состояния ТХП по предельным состояниям I и II групп. В настоящий момент можно отметить два основополагающих направления расчета ТХП:

- 1) традиционные расчетные положения, используемые для проектирования стальных строительных конструкций из прокатных и сварных неоцинкованных профилей толщиной более 2 мм. Данный подход используется в ряде рекомендаций [1–3] и достаточно приближенно учитывает специфику работы ТХП под нагрузкой. Основу подхода составляют расчетные положения СНиП II-23-81* с учетом дополнительных коэффициентов надежности и эффективных (уменьшенных) геометрических характеристик поперечных сечений, учитывающих специфику работы тонкостенных профилей под нагрузкой;

- 2) расчетные положения, адаптированные для расчета ТХП с учетом специфических особенностей их работы. Данный подход является более точным по сравнению с первым; представлен в европейских нормах [4].

Каждая из приведенных методик расчета имеет свои преимущества и недостатки. По этой причине выбор основополагающей методики, планируемой к вводу на территории Республики Беларусь, требует детального анализа и изучения, а также экспериментального подтверждения. С этой целью в рамках научно-исследовательской программы "Разработать и внедрить эффективные импортозамещающие тонкостенные холодногнутые профили из оцинкованной стали и конструкции быстровозводимых малоэтажных

зданий на их основе" были проведены экспериментальные исследования работы центрально сжатых коротких стоек и изгибаемых элементов.

Испытания стоек на сжатие позволили оценить несущую способность элементов из ТХП, определяемую местной устойчивостью элементов сечения. Выбором длины стойки и числа ее раскреплений по высоте исключалось влияние потери общей устойчивости профиля на несущую способность. Проведенные испытания подтвердили ожидаемый характер разрушения стойки. Истощение несущей способности стойки было вызвано достижением сжимающими напряжениями в частях сечения критических значений и, как следствие, потерей местной устойчивости частей (рис. 1). Большое влияние на несущую способность сжатых стоек оказывают начальные несовершенства (отклонения размеров и формы) профилей и точность приложения внешней нагрузки.

В рамках эксперимента выполнены испытания элементов на изгиб из профилей с различными типами сечений и размерами. Проведенные экспериментальные исследования позволили оценить не только значение максимального момента, вызывающего местную потерю устойчивости элементов поперечного сечения, но и сравнить экспериментальные прогибы с теоретическими, рассчитанными на основании эффективных геометрических характеристик сечения. Типичный характер потери местной устойчивости изгибаемого профиля (С-, П- и Z-образного) приведен на рис. 2.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы:

- фактическая разрушающая нагрузка в подавляющем большинстве случаев превышает расчетную (теоретическую);
- характер работы изгибаемых элементов можно разделить на два этапа: упругий и неупругий;
- неупругий характер работы начинается при достижении внешней нагрузкой примерно 50 % от значения разрушающей нагрузки;
- неупругий характер работы образцов вызван потерей местной устойчивости и возникновением пластических деформаций;
- теоретические прогибы в подавляющем большинстве случаев превышают экспериментальные.

3.2 Работы по совершенствованию нормативной базы строительства

В настоящее время в соответствии с поручением Главы государства, решениями Совета Министров Республики Беларусь и согласно "Плану мероприятий по введению в действие на территории Республики Беларусь норм и стандартов Европейского Союза в области проектирования и строительства зданий и сооружений" кафедрой проводится активная работа по адаптации и внедрению европейских норм прямого введения на территории Республики Беларусь с 2010 г., гармонизации действующих строительных норм с европейскими стандартами.

В связи с введением с января 2010 г. в Республике Беларусь технических кодексов установившейся практики (ТКП) по проектированию строительных конструкций, идентичных соответствующим европейским нормам, появился ряд вопросов, требующих детального изучения. Эта работа связана с освоением принципов и правил, заложенных в европейских нормах, при проек-

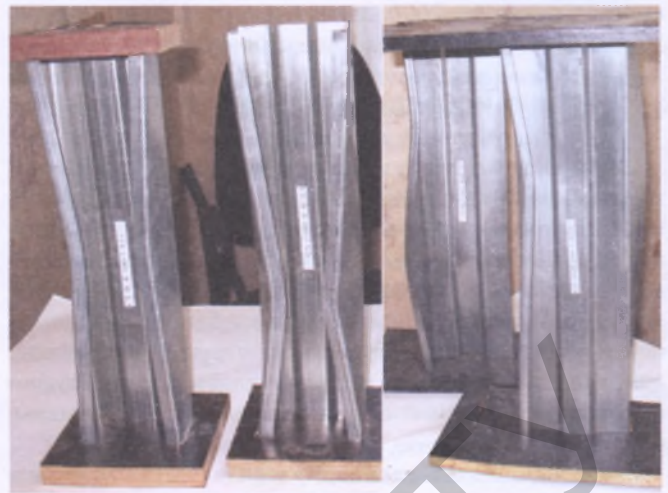


Рис 1. Потеря местной устойчивости элементов сечения сжатых коротких стоек



Рис 2. Потеря местной устойчивости элементов

тировании, изготовлении и монтаже конструкций и систем; при подготовке, переподготовке и повышении квалификации специалистов строительного профиля.

Полноценная и объективная оценка эффективности перехода республики на новую нормативную базу связана с выполнением большого числа расчетов элементов реальных конструкций в широком диапазоне геометрических параметров, прочностных характеристик материалов и значений воздействий.

В соответствии с отмеченным планом мероприятий кафедрой проведен ряд научно-практических семинаров по тематике, связанной с адаптацией европейских стандартов, разработаны и разрабатываются алгоритмы расчетов, готовятся учебно-методические пособия с примерами расчета элементов строительных конструкций на различные силовые воздействия.

3.3 Вантовое покрытие здания культурно-спортивного комплекса "Минск-Арена"

За последние годы наиболее значимым в научном плане явилось участие коллектива кафедры в научном сопровождении на всех этапах проектирования и строи-

тельства уникального большепролетного вантового покрытия здания культурно-спортивного комплекса "Минск-Арена" в г. Минске: разработка концепции, обоснование расчетной схемы, моделирование, расчет и конструирование, изготовление и монтаж, мониторинг напряженно-деформированного состояния сооружения. Комплекс "Минск-Арена" не имеет аналогов в СНГ среди сооружений подобного типа. Научный руководитель темы — к. т. н., доцент И. В. Башкевич. Важная роль в научном сопровождении на всех этапах проектирования и возведения покрытия (от идеи до мониторинга) принадлежит к. т. н., доценту Л. Ф. Березовскому.

Эта работа проводилась в сотрудничестве с РПУП "Ордена Трудового Красного Знамени" Институт Белгоспроект" при участии французской компании Freyssinet.

Круглая в плане, многофункциональная спортивно-зрелищная арена цилиндрического объема перекрыта двухпоясной вантовой системой в виде "велосипедного колеса" (рис. 3). Арена рассчитана на проведение соревнований и учебно-тренировочного процесса по более чем 25 видам спорта, а также концертов, эстрадно-цирковых шоу.

Диаметр вантового покрытия — 116,0 м, диаметр внутренних металлических колец в осях упоров вант — 12,0 м. Количество вантовых ферм — 48 шт. Расстояние между верхним и нижним кольцами по центру тяжести сечения — 7,7 м, высота между осями вант на наружных опорах — 3,3 м.

Крепление вант к центральным металлическим кольцам осуществляется в окна с помощью анкерных устройств фирмы Freyssinet к плитам, которые передают нагрузку на упорные пластины. Верхнее и нижнее кольца соединены между собой 24 стойками из труб сечением 159х5 мм (рис. 4).

В качестве наружных опорных колец используются железобетонные перекрытия поперечным сечением 6300х300 мм, соединенные между собой по внутренней грани цилиндрической стенкой. Бетонная стена толщиной 400 мм расположена по всей окружности диаметром 116 м. В местах крепления вант установлены монолитные железобетонные пилоны шириной от оси стены 1000 мм, толщиной 700 мм (рис. 5).

Для создания вант используются пряди из высокопрочной проволоки французской фирмы Freyssinet [5] по стандарту EN 10138-3 класса 1860. Каждая прядь состоит из семи проволок диаметром 5,2 мм. Все пряди покрыты защитной оболочкой из ПЭВП (полиэтилена высокой плотности). Несущие ванты состоят из 27 прядей общим диаметром 120 мм, а стабилизирующие — из семи прядей общим диаметром 50 мм [6, 7].

Монтажу предшествовали испытания вантовой двухпоясной фермы на модели в масштабе 1:25, при которых изучалось напряженно-деформированное состояние ферм в процессе создания предварительного напряжения стабилизирующих вант, а также отработывались способы монтажа покрытия (рис. 6).

Многофункциональный культурно-спортивный комплекс "Минск-Арена" является уникальным большепролетным сооружением с трибунами на 15 000 зрителей, что определяет высокие требования по долговременной, надежной и безотказной работе вантового покрытия. Наиболее ответственными элементами вантового покрытия являются несущие и стабилизирующие ванты, а также центральное нижнее металлическое кольцо, за которыми организовано системное инструментальное наблюдение. Натурные наблюдения за деформированием вантового

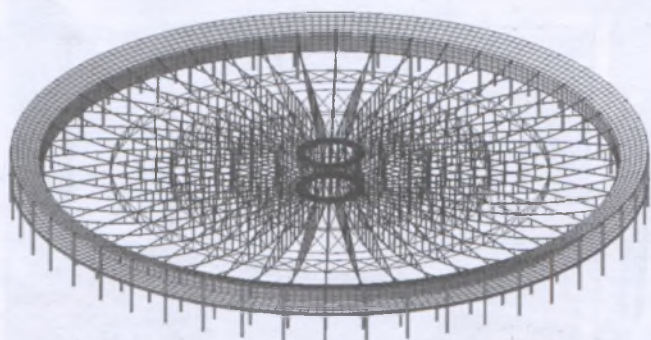


Рис. 3. Конечно-элементная модель покрытия

покрытия, вызванным влиянием климатических факторов и эксплуатационных воздействий, должны проводиться систематически в период первых (не менее пяти) лет эксплуатации сооружения. Анализ полученных результатов путем сравнения с проектными данными позволит обеспечить безаварийную работу вантового покрытия.

В процессе строительства "Минск-Арены" велось наблюдение за напряженно-деформированным состоянием вантового покрытия. При проведении мониторинга конструкций вантового покрытия использовались инструментальные и визуальные методы. Для оценки и инженерного анализа состояния вантового покрытия были выполнены расчеты с использованием современных программных комплексов "ЛИРА", ANSYS и NASTRAN на фактические нагрузки по этапам их создания в процессе строительства. Учитывая особенность применяемых вантовых конструкций — их

большую деформативность и способность вант работать только на растяжение, задача решалась в геометрически и конструктивно нелинейной постановке. Разрешающая система нелинейных алгебраических уравнений решалась методом сопряженных градиентов.

Для обеспечения устойчивости вантовых ферм при монтаже определялись усилия, которые необходимо создавать при закреплении несущих и стабилизирующих вант в металлических кольцах. На основе проведенного исследования разработана и реализована на практике технология предварительного напряжения вантовой системы.

Инструментальный контроль усилий

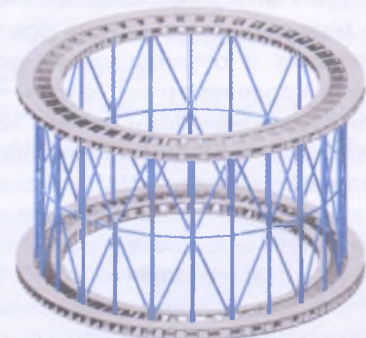


Рис. 4. Центральный барабан



Рис. 5. Крепление вант к железобетонному кольцу

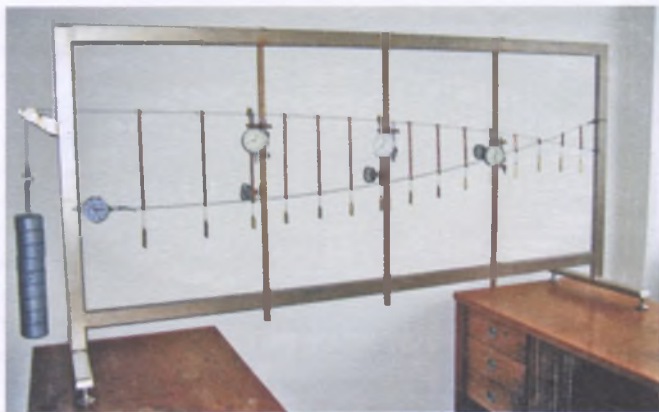


Рис. 6. Исследование модели вантовой фермы

в несущих и стабилизирующих вантах ведется с использованием датчиков усилий, разработанных французской компанией Freyssinet. Датчики были установлены в процессе формирования вантовых ферм на одну из прядей каждой четвертой фермы как на несущих, так и на стабилизирующих вантах внутри регулируемых анкеров центральных металлических колец. Программное обеспечение измерения усилий в вантах разработано французской компанией Advitam. Компьютер с подключенными к нему измерительными системами размещается в помещении диспетчерской службы, что дает возможность непрерывно контролировать усилия в несущих и стабилизирующих вантах. Для контроля за уровнем напряженного состояния вант установлены предупредительные и предельные границы.

Для контроля за напряженным состоянием нижнего металлического кольца после монтажа вантового покрытия и осуществления мониторинга при действии неравномерных нагрузок в стадии эксплуатации сооружения установлены 32 датчика СДД лаборатории вычислительной диагностики Института прикладной физики НАН Беларуси. Датчик СДД представляет собой стальную струну с обмотками в магнитном поле, образуя автогенератор, частота колебаний которого зависит от нагрузки, приложенной к струне. Датчик имеет измерительную базу ($100 \pm 0,5$) мм. Установлены предупредительные и предельные границы напряженного состояния нижнего металлического кольца.

По результатам работы кафедры Белорусскому национальному техническому университету за это сооружение присужден Почетный диплом победителя

Республиканского конкурса "На лучшее достижение в строительной отрасли Республики Беларусь" в номинации "Объект года" в категории "Новое строительство", а "Республиканская строительная газета" отметила БНТУ специальным дипломом за активное продвижение научных разработок в области строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1 Проведенные экспериментальные исследования показывают, что расчетные нагрузки, определенные по расчетным методикам, не в полной мере соответствуют экспериментальным данным.
- 2 Наибольшее совпадение отмечено для изгибаемых конструктивных элементов, наименьшее — для коротких стоек. Это свидетельствует о необходимости внесения поправочных коэффициентов в методику расчета, учитывающих влияние точности приложения нагрузки и начальные несовершенства профиля.
- 3 Впервые возведенная в Республике Беларусь уникальная двухпоясная вантовая система культурно-спортивного комплекса "Минск-Арена" диаметром 116 м отличается легкостью и стабильностью покрытия, небольшой высотой строительного отапливаемого объема.
- 4 Компьютерный анализ напряженно-деформированного состояния двухпоясной вантовой системы с одновременным использованием нескольких программных комплексов позволил оперативно вносить коррективы в расчетные модели и показал высокую сходимость результатов.
- 5 После окончания строительства арены рекомендуется продолжить мониторинг за состоянием конструкций вантового покрытия в период эксплуатации не менее 5 лет. Для этого разработана программа, определены деформационные и силовые факторы при различных сочетаниях эксплуатационных нагрузок, установлены предупредительные и предельные границы усилий в несущих и стабилизирующих вантах, а также вертикальных перемещений центрального нижнего металлического кольца и напряжений в его полках. Создана база, позволяющая контролировать напряженно-деформированное состояние вантовой системы и обеспечить надежность и безопасность работы при различных режимах эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутого стальных оцинкованных профилей производства конструкций ООО "Ласар". — Липецк: ООО "Легстальпроект", 2005. — 46 с.
2. Рекомендации по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации несущих стропильных конструкций "Талдом-Профиль"® из тонкостенных стальных оцинкованных профилей. — М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 2004. — 86 с.
3. Рекомендации по проектированию, изготовлению и монтажу конструкций каркаса малоэтажных зданий и мансард из холодногнутого стальных оцинкованных профилей производства ООО "Балт-Профиль". — М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 2004. — 69 с.
4. Design of steel structures. General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting: EN 1993-1-3:2006. — 130 p.
5. Ванты Фрейссине. — Представительство "Фрейссине Интернасьональ" в России. — М., 2006.
6. Исследование работы вантового покрытия многофункционального спортивно-зрелищного сооружения "Минск-Арена" в процессе натяжения вант и воздействия нагрузок. Дополнительный отчет по х. д. № 173-МОЦ. БНТУ. — Минск, 2008.
7. Подготовка и проведение мониторинга конструкций вантового покрытия многофункционального спортивно-зрелищного сооружения "Минск-Арена" в процессе натяжения вант и воздействия нагрузок (заключительный отчет); № г. р. 200788. БНТУ. — Минск, 2009.

Статья поступила в редакцию 13.01.2011.