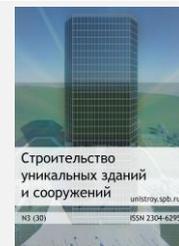


Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Сборочные отклонения в шарнирно-стержневом металлическом покрытии

А.Б. Бондарев¹

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 86123, Украина, Донецкая область, Макеевка, ул. Державина, 2.

Информация о статье

УДК 621.793

Научная статья

История

Подана в редакцию 20 февраля 2015
Принята 5 марта 2015

Ключевые слова

большепролетные пространственные покрытия,
структурная оболочка,
монтажное состояние,
сборочные усилия математическое моделирование,
сборочные погрешности,
полуактивное управление монтажом

АННОТАЦИЯ

В данной статье выполнен расчёт точности статистическим методом и анализ результатов - возможных сборочных отклонений шарнирно-стержневой цилиндрической оболочки пролётом 42 м, со стрелой подъёма 7,5 м. Была рассмотрена продольная и поперечная технологическая схема сборки оболочки покрытия. Анализ результатов осуществлён по положению узлов и стержней в пространстве относительно их проектных значений. Расчёт выполнен с помощью авторской компьютерной программы, на персональном компьютере реализующей расчёт пространственной размерной цепи с несколькими замыкающими звеньями статистическим методом. Вероятностные величины отклонений, которые получены, свидетельствуют о необходимости разработки конструктивных мероприятий для обеспечения собираемости покрытия. Предложенные конструктивные решения стыковки стержней и способ монтажа покрытия обеспечивают его собираемость без сборочных усилий.

Содержание

Введение	99
1. Краткий обзор исследований	99
2. Выделение не разрешённых ранее частей общей проблемы и анализ последних исследований	99
3. Объект, цель и методика исследований исследования	100
4. Анализ результатов исследования	101
Выводы	104

¹

Контактный автор:

+7 (914) 864 5290, bondarev_a_b_rus@mail.ru (Бондарев Алексей Борисович, аспирант)

Введение

Большепролетные шарнирно-стержневые металлические покрытия применяются для покрытия или перекрытия больших пролётов таких объектов как выставочные павильоны, бассейны, стадионы, ангары, склады, цеха, торгово-выставочные центры (ТВЦ) и др. При сборке большепролетных покрытий, да и вообще любых многоэлементных систем неизбежно возникают отклонения. Возникновение отклонений в металлических статически неопределимых конструкциях приводит к изменению их напряжённо-деформированного состояния (НДС). Следовательно, учёт отклонений в покрытиях и борьба с ними на этапе проектирования – один из возможных резервов повышения несущей способности покрытия, повышения его живучести и снижения трудоёмкости возведения.

Следовательно, определение и учёт возможных отклонений при проектировании большепролетных шарнирно-стержневых металлических покрытий позволит создать систему конструктивных мероприятий, которые позволят снизить влияние отклонений на несущую способность покрытия, а также управлять отклонениями в процессе монтажа. Кроме того, возможность управления отклонениями при сборке покрытия снизит трудоёмкость его возведения.

1. Краткий обзор исследований

Результаты исследований многих авторов, посвящённых отклонениям, свидетельствуют, что отклонения снижают несущую способность металлоконструкции. Значительное количество работ посвящено влиянию погнутости стержней – работы Губайдуллина Р. Г. [10], Корчака М. Д. [16], Косорукова В. А. [17], Опланчука А. А. [20]. Сотникова Н. Г. [29], Югова А. М. [32]. Во многих трудах посвящённых несовершенствам металлоконструкций исследовалось влияние отклонения длины стержней от проектных размеров на поведение конструкции – работа Колесникова Г. Н. [15], Малкова В. П. [18], Молева И. В. [19], Сно В. Е. [28], Сытника В. С. [30]. Начиная с 70-х годов на кафедре технологии ракетно-космического машиностроения Кашуба Л. А., Тарасов В. А., Исаев С. В. занимаются вопросами отклонений формы элементов радиотелескопов, оболочек ракет [13], [14] аналогичными вопросами занимается Кузьминский Д. Л. [4] для конструкций двигателей внутреннего сгорания. Расчёт точности с использованием современных программных комплексов рассмотрен Алямовским А. А. и Шаломеенко М. С. [3], [31].

В последнее время появились исследования, рекомендуемые для борьбы с отклонениями создавать управляемые конструкции – работы Н.П. Абовского [2], Gaul L. [35], Hasan R. [36], Charles R. Farrar, [33], Chars J. Gantes [34], Kaveh A. [38], Kohtaro Matsumoto [40], Tokunbo Ogunfunmi [44], Ömer KELEŞOĞLU [41], Preumont, A. [43] и др. В этих работах рекомендуют создавать конструкции с «полуактивным управлением» (semi-active) в том числе для борьбы с несовершенствами формы. В их основу положен, анализ виброустойчивости радиотелескопов и гелиоскопов – Kim H. M. [39], Pearson, J. E. [42]. Вопросам управления формой радиотелескопов свои работы посвятили В. И. Буюкаса и А. С. Гвамичава [6], [7], Тарасов В. А. Первые работы по управлению поведением строительных конструкций появились давно ещё в сейсмостойком строительстве [8].

2. Выделение не разрешённых ранее частей общей проблемы и анализ последних исследований

Давно известно, что сборочные отклонения, снижают надёжность, и собираемость большепролетных стержневых металлических покрытий. В работах [5], [24] отмечается, что если все требования будут стопроцентно соблюдены, а это практически невозможно, то аварии неизбежны в силу объективного несовершенства созданных человеком норм. В последнее время появилось значительное количество работ по оценке НДС металлоконструкций с учётом последовательности монтажа [25], но в этих работах, как и во многих аналогичных ничего не сказано об учёте отклонений в процессе монтажа.

К настоящему времени учёт отклонений выполняется методом статистических испытаний или методом Мора [26]. Для простых систем при расчёте точности – определении величин отклонений можно применить хорошо известные методы теории размерных цепей [9]. Для сложных систем применение методов теории размерных цепей затруднено или невозможно. Использование метода Мора или метода статистических испытаний к определению отклонений и усилий в многоэлементных шарнирно-стержневых статически неопределимых системах не отражает процесса накопления отклонений при сборке. Следовательно, сегодня требуется разработка методики расчёта точности для многоэлементных шарнирно-стержневых систем и оценке влияния отклонений на собираемость и НДС стержневых систем.

3. Объект, цель и методика исследований исследования

Цель исследования – численная оценка сборочных отклонений в стержнях и узлах шарнирно-стержневой металлической оболочки покрытия цилиндрической формы при разных технологических последовательностях сборки. Объект исследования – двухпоясное шарнирно-стержневое большепролетное металлическое покрытие ТВЦ цилиндрической формы (рисунок 1).

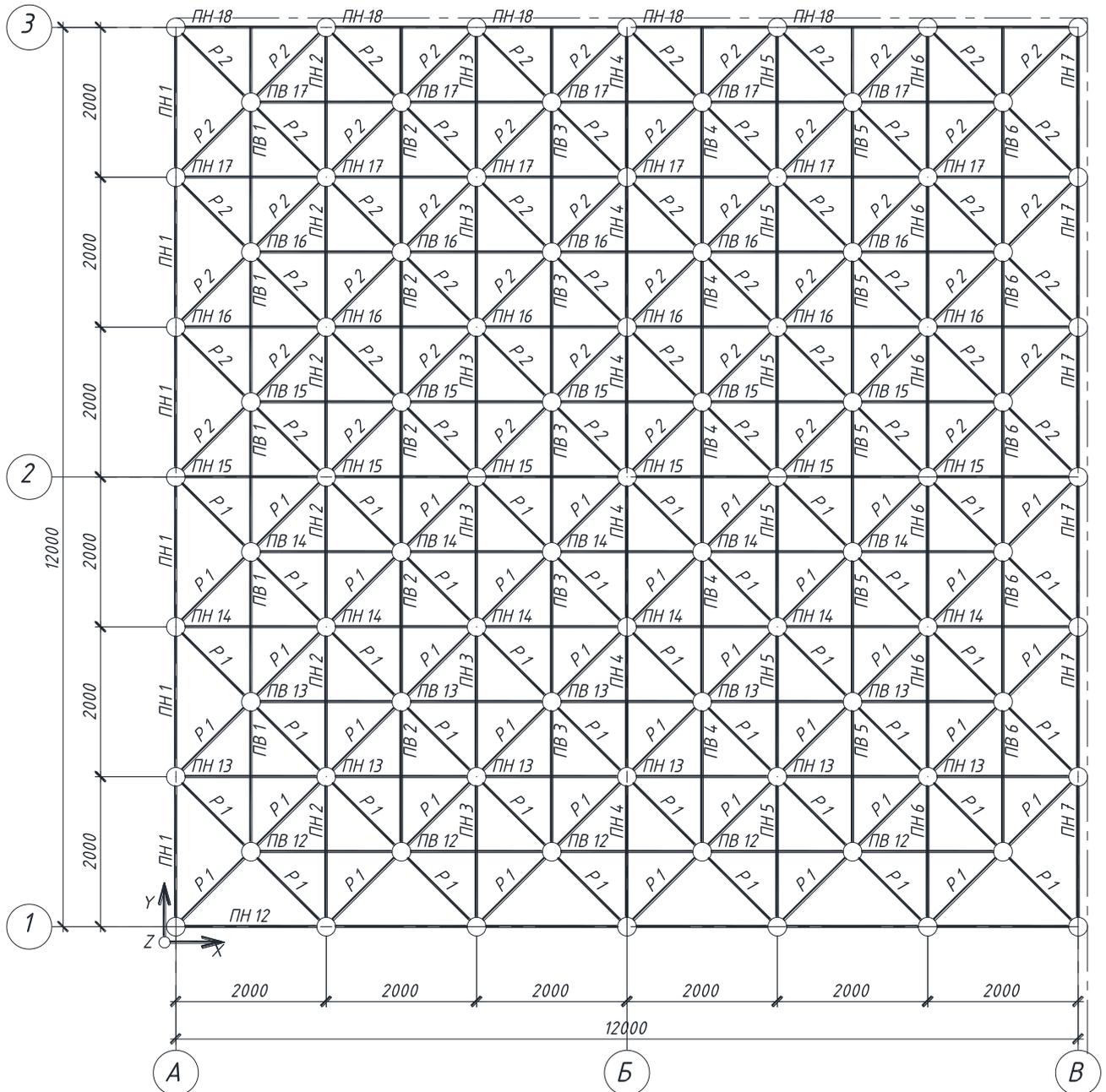


Рисунок 1. Фрагмент плана покрытия

В конструктивном отношении основными несущими элементами покрытия являются структурные плиты. Фрагменты технологических схем сборки покрытия с указанием расположения замыкающих стержней приведены на рисунках 2 и 3. Замыкающие стержни – стержни, выполняющие роль замыкающих звеньев в пространственной размерной цепи [9]. Стрела подъёма покрытия составляет 7,5 м. Крепление узлов покрытия с колоннами жёсткое. Распор цилиндрического покрытия гасится жёстким соединением колонн с ригелями и сталебетонным перекрытием. Для расчёта точности принята поэлементная сборка монтажных блоков покрытия. Исследование возможных сборочных отклонений цилиндрического покрытия

подразумевает многократное моделирование процесса его сборки и получение статистических характеристик отклонений с помощью авторской компьютерной программы [1] – Вычислительный комплекс «Размерный анализ стержневых конструкций» (ВК РАСК).

Процесс расчёта точности в ВК РАСК выполняется в такой последовательности:

- определение геометрических размеров покрытия;
- определение линейных размеров отдельных элементов объекта;
- ввод координат узлов идеальной расчётной схемы;
- назначение допусков в соответствии с выбранным классом точности на изготовление согласно [9] и монтаж [12] и собственно расчёт точности и анализ результатов расчёта.

В результате расчёта точности исследуемого покрытия получены отклонения узлов от их проектных значений в нормальном (dZ), меридиональном (dY) и тангенциальном (dX) направлении. Статистическая оценка отклонений производилась на основе 1000 серий испытаний, которые отличались друг от друга последовательностью сборки. Номинальное положение узлов оболочки получено путём обработки файлов формата *.dwg в программе AutoCAD Civil 3D 2009 [27]. Расчётная схема цилиндрического покрытия состоит из 138 узлов и 474 элементов. Допускаемые отклонения расчётных геометрических параметров приняты в соответствии с [12] для линейных размеров конструкций, изготавливаемых в кондукторах. Оценка сборочных отклонений в покрытии производилась по статистическим характеристикам положения узлов и стержней от номинальных значений.

4. Анализ результатов исследования

Исследованы разные технологические схемы сборки – продольная схема сборки (ПДС) и поперечная схема сборки (ППС). В таблице 1 даны значения отклонений отдельных узлов и стержней исследуемого цилиндрического покрытия при сборке – ПДС и ППС по [12]. Из таблицы видно, что с увеличением количества узлов в направлении сборки увеличиваются отклонения в узлах и стержнях покрытия. Наибольшие зазоры выявлены в ключе покрытия – вызвано накоплением отклонений при выполнении сборки стержней в конструктивную форму и подтверждает общие положения теории размерных цепей [9]. Видно, что величины отклонений по всем направлениям превышают нормативные значения в 5...7 раз. Такие отклонения обусловлены неизбежным процессом накопления отклонений при сборке покрытия. Установлено, что в случае ППС предельное значение отклонения 67 узла в нормальном направлении достигает 20,15 мм, а при ПДС 36,99 мм для 63 узла. Предельное отклонение длины зафиксированы при ПДС в 187 элементе – 17,06 мм. Из анализа результатов расчёта точности покрытия рекомендуется выполнять его сборку по схеме ППС.

Таблица 1 Отклонения в покрытии при разных технологиях сборки, мм

Узел	СКО dX	СКО dY	СКО dZ	Стержень	Линейное отклонение
Продольная сборка (ППС)					
119	14,56	2,55	16,17	285	7,65
113	12,66	3,56	19,83	459	7,79
67	11,24	1,82	20,15	363	-8,15
Поперечная сборка (ПДС)					
121	15,87	3,57	31,74	275	8,29
125	13,67	5,74	35,74	179	-12,42
63	13,39	4,89	36,99	187	-17,06

Для обеспечения 100 % уровня собираемости исследованного покрытия и снижения сборочных усилий до нуля требуется разработка конструктивно-технологических и других мероприятий в виде специальных стыковых узлов стержней и способа монтажа, по аналогии с теми, что предложены автором [21-23]. Предложенные автором и защищённые патентами конструктивные решения стыковки стержней и способ монтажа покрытия обеспечивают его собираемость без сборочных усилий. Также использование предложенных решений позволит повысить несущую способность покрытия, живучесть, собираемость и снизить трудоёмкость сборки. Снижение трудоёмкости сборки покрытия достигается за счёт «активного управления» процессом сборки. Полученные с помощью ВК РАСК величины отклонений могут служить основой для оценки напряжённо-деформированного состояния покрытия с учётом отклонений.

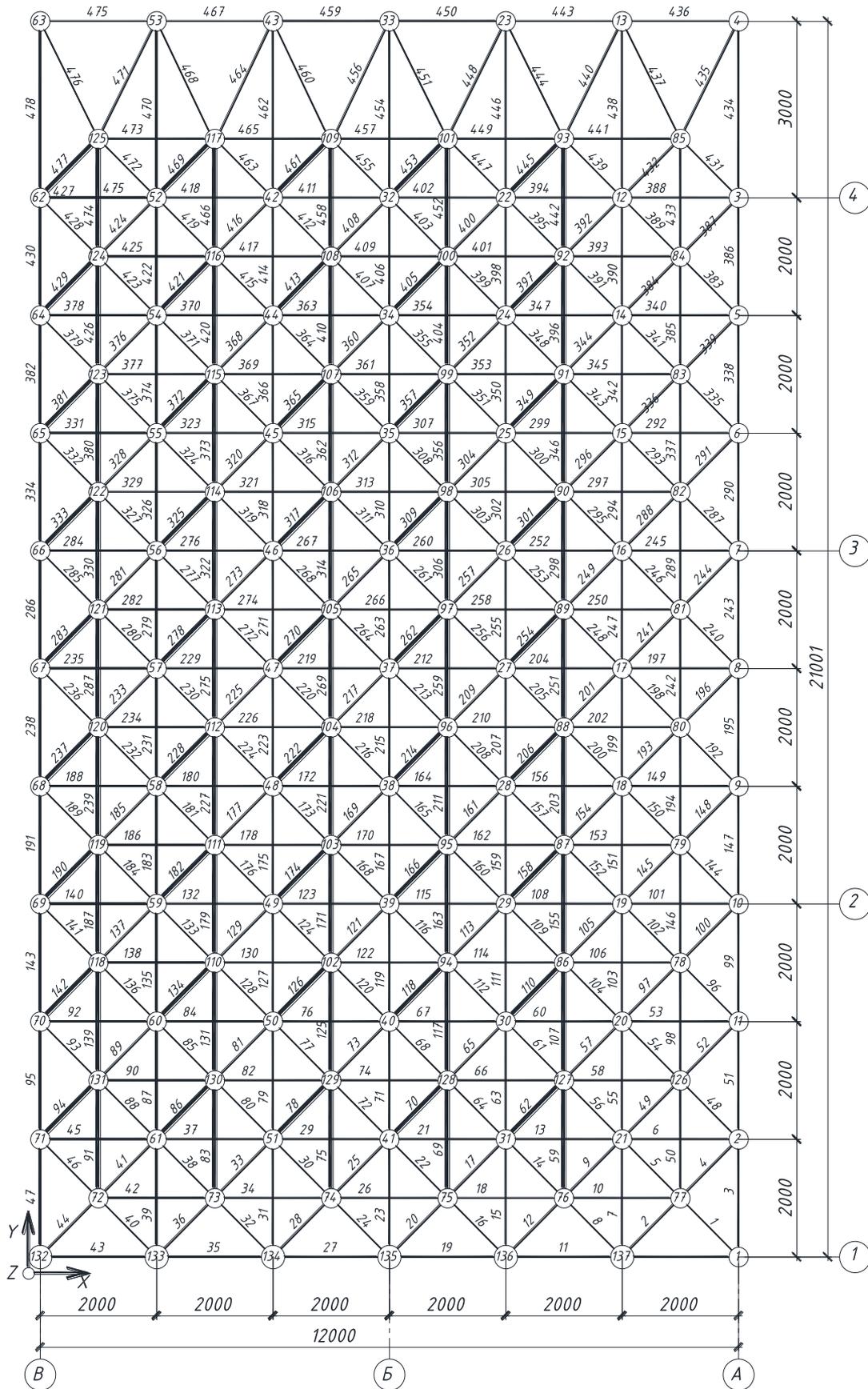


Рисунок 2. Фрагмент технологической схемы продольной сборки покрытия (ПДС)

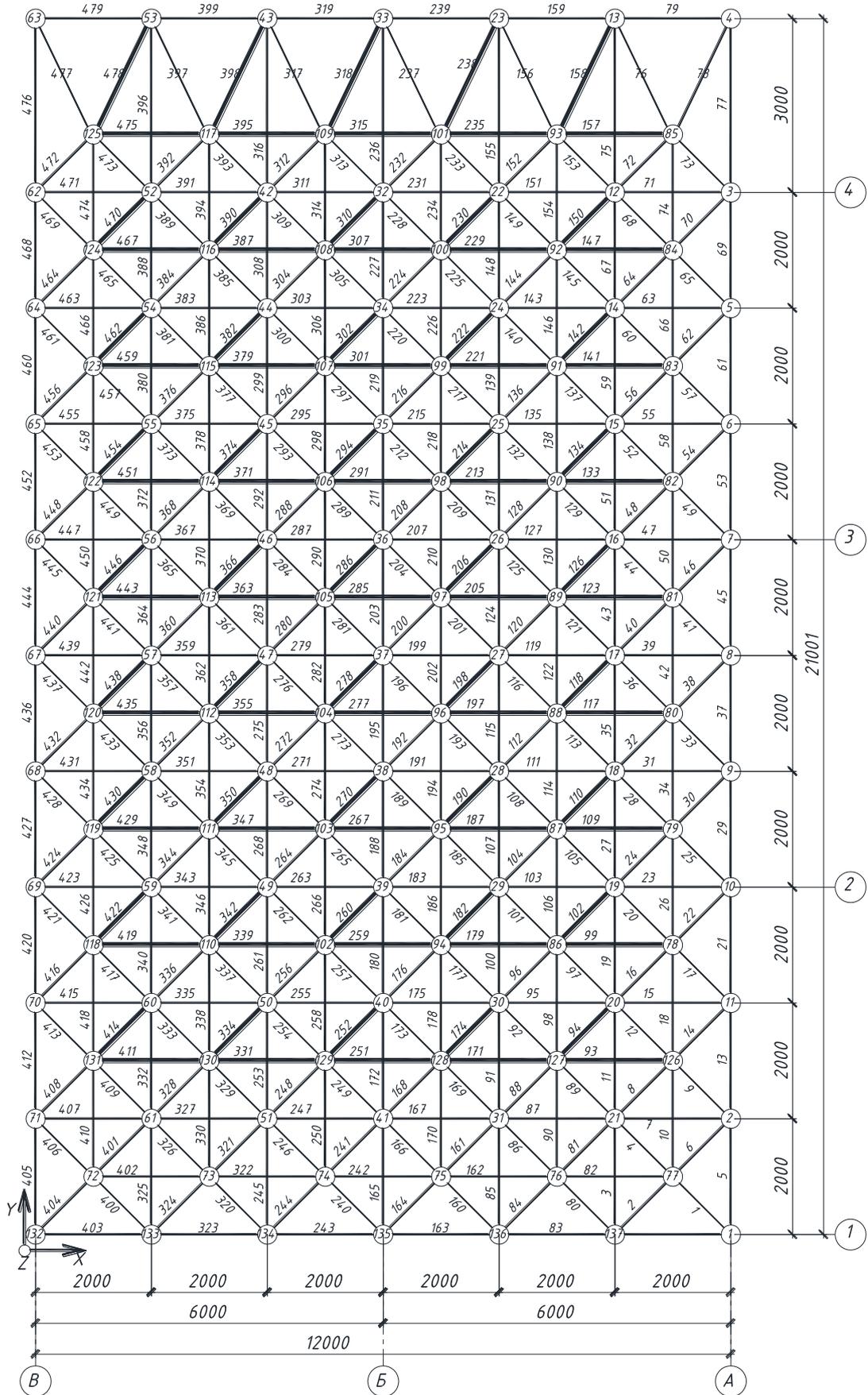


Рисунок 3. Фрагмент технологической схемы поперечной сборки покрытия (ППС)

Выводы

1. Разработанный алгоритм [1] расчёта точности стержневых конструкций в вероятностной постановке позволяет исследовать возможные сборочные отклонения большепролетных металлических покрытий различных конструктивных схем и способов возведения.

2. В результате численного статистического исследования цилиндрического покрытия получены среднеквадратические значения возможных отклонений и зазоров в его узлах и стержнях. Установлено, что в случае ППС предельное значение отклонения 67 узла в нормальном направлении достигает 20,15 мм, а при ПДС – 36,99 мм для 63 узла. Предельное отклонение длины зафиксировано при ПДС в 187 элементе – 17,06 мм. Из анализа результатов расчёта точности покрытия рекомендуется выполнять его сборку по схеме ППС.

3. Для обеспечения собираемости исследованного покрытия требуется разработка конструктивно-технологических и других мероприятий в виде специальных стыковых узлов стержней и способа монтажа, по аналогии с теми, что предложены автором [21-23].

Литература

- [1]. А.с. 47952 Украина. Компьютерная программа «Вычислительный комплекс «Размерный анализ стержневых конструкций» («ВК РАСК») / А. Б. Бондарев, А. М. Югов (Украина). – № 48382; заявлено 20.12.2012; опубликовано 20.02.2013, Бюллетень № 1. – 2 с.
- [2]. Абовский Н. П. Управляемые конструкции. Учебное пособие. Красноярск: КамКрас, 1998. 433 с.
- [3]. Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б. Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 800 с.
- [4]. Анкин А. В., Кузьминский Д. Л. Разработка программного обеспечения для расчета пространственной размерной цепи // Известия МГТУ «МАМИ». Раздел 2. Технология машиностроения и материалы. 2011. №2(12). С. 106-110.
- [5]. Белостоцкий А. М. Анализ причин обрушения конструкций покрытия СОК «Трансвааль-парк». Часть 1. Постановка задач и методология численного моделирования. Часть 2. Моделирование нагрузок и воздействий. // Вестник МГСУ. 2006. №3. С. 20-40.
- [6]. Буюкас В. И. Статически определимые регулируемые структуры и их приложения в технических задачах космической астрономии: Диссертация доктора технических наук. М.: ФИАН, 2004. 190 с.
- [7]. Гвамичава А. С. Разработка и внедрение конструктивных форм и методов расчета крупногабаритных космических антенных сооружений: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: ЦНИИСК, 1984. 57 с.
- [8]. Гольденблат И. И., Николаенко Н. А., Поляков С. В., Ульянов С. В. Модели сейсмостойкости сооружений. М.: Наука, 1979. 252 с.
- [9]. ГОСТ 21780-2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности. М.: Издательство стандартов, 13 с.
- [10]. Губайдуллин Р. Г., Сидоров И. В. Система допусков и расчет точности стальных конструкций: Учебное пособие. Челябинск, 1992. 79 с.
- [11]. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. К.: Сталь, 2006. 78с.
- [12]. ДБН В.2.6-163-2011. Строительные материалы и конструкции. Стальные конструкции. Нормы проектирования, изготовления и монтажа. К.: Укрархстроинформ, 2011. 215 с.
- [13]. Исаев С. В. Методика оценки линейной модели пространственной размерной цепи для обеспечения взаимозаменяемости объектов производства при сборке: Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. 204 с.
- [14]. Кашуба Л. А. Геометрия сборки недеформируемых деталей. // Системный анализ в науке и образовании: электронный научный журнал. Дубна. 2011. №4. [Электронный ресурс]. Системные требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.sanse.ru/archive/19> (дата обращения: 12.02.2015).
- [15]. Колесников Г. Н. Статический расчёт и формообразование несущих каркасов сетчатых оболочек: Автореферат диссертации кандидата технических наук. Ростов-на-Дону: РГСУ, 1982. 21 с.
- [16]. Корчак М. Д. Влияние геометрических несовершенств на несущую способность легких металлических конструкций: Автореферат диссертации доктора технических наук. М.: Электросталь, 1993. 39 с.
- [17]. Косоруков В. А. Влияние случайных погнутостей сжатых стержней стальных стропильных ферм на их несущую способность: Диссертация кандидата технических наук. М.: ЦНИИСК, 1975. 142 с.
- [18]. Малков В. П., Любимов А. К, Буреева Н. Н. Надежность формирования рабочей поверхности заданной геометрии ферменных систем с учетом конструктивных допусков // Строительная механика и расчет сооружений. 1989. № 1. С. 1-5.
- [19]. Молев И. В. Конструктивные разработки, экспериментально-теоретические исследования и внедрение стальных куполов: Автореферат диссертации доктора технических наук. Нижний Новгород: ЦНИИСК, 1998. 36 с.
- [20]. Опланчук А. А. Несущая способность стержней ферм из уголков с местными дефектами: Автореферат диссертации кандидата технических наук. Новосибирск: ЦНИИСК, 1983. 21 с.
- [21]. Пат. №79680 Украина, МПК E04B 1/32; E04B 1/58 Способ монтажа большепролетных стержневых металлических покрытий [Текст] / Бондарев А.Б., Югов А.М.; заявитель и патентообладатель Бондарев А.Б., Югов А.М. № u 2012 13187; заявл. 19.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 1. 5 с.

- [22]. Пат. №79683 Украина, МПК E04B 1/38; E04B 1/58 Стыковое соединение стержней с разными размерами поперечного сечения [Текст] / Бондарев А.Б., Югов А.М.; заявитель и патентообладатель Бондарев А.Б., Югов А.М. – № и 2012 13191; заявл. 19.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. №1. – 7 с.
- [23]. Пат. №80327 Украина, МПК E04B 1/38; E04B 1/58 Стыковое соединение стержней с равными размерами поперечного сечения [Текст] / Бондарев А.Б., Югов А.М.; заявитель и патентообладатель Бондарев А.Б., Югов А.М. – № и 2012 13193; заявл. 19.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. №1. – 6 с.
- [24]. Перельмутер А. В. Управление поведением несущих ограждающих конструкций. Издание 2-е дополненное и исправленное. М.: АСВ, 2011. 184 с.
- [25]. Перельмутер А. В. Проверка устойчивости конструкций, расчет которых выполняется с учетом стадийности монтажа // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – Vol.10(4). С. 22-28.
- [26]. Рабинович И. М. Курс строительной механики стержневых систем. Часть II. Статически неопределимые системы. – 2-е издание, переработанное. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. 544 с.
- [27]. Руководство пользователя AutoCAD Civil 3D 2009. US: Autodesk. 2008. 2452 с.
- [28]. Сно В. Е. Статистический анализ погрешностей монтажа колонн каркасных зданий // Строительная механика и расчёт сооружений. 1984. №6. С. 5-9.
- [29]. Сотников Н.Г. Прочность и устойчивость элементов стальных конструкций из уголков, имеющих общие и местные дефекты и повреждения: Автореферат диссертации кандидата технических наук. Л.: ЛГТУ, 1987. 15 с.
- [30]. Сытник В. С. Контроль и обеспечение точности при возведении зданий и инженерных сооружений. М.: Стройиздат, 1977. 177 с.
- [31]. Шаломеев М. А. Размерный анализ в Solid Works // САПР и графика. Инструменты APM. 2010. №10. С. 40-42.
- [32]. Югов А. М. Действительная работа металлических решётчатых конструкций с несовершенствами: Диссертация кандидата технических наук. Одесса: ОГАСА, 1988. 200 с.
- [33]. Charles R. Farrar, Keith Worden, Michael D. Todd, Gyuhae Park, Jonathon Nichols, Douglas E. Adams, Matthew T. Bement, Kevin Farinholt Impacts of artificial intelligence and optimization on design, construction and maintenance. Los Alamos, New Mexico: Los Alamos. National Laboratory, 2007. 143 p.
- [34]. Chars J. Gantes, Jerome J. Connor, Robert D. Lwxher, Yechiel Rosenfeld Structural analysis and design of deployable structures Computers and Structures. 1989. Vol. 32(3-4) Pp. 661-669.
- [35]. Gaul L., Albrecht H., Wirnitzer J. Semi-active friction damping of large space truss structures Shock and Vibration. 2004. Vol. 11. Pp. 173-186.
- [36]. Hasan R., Xu L., Grierson D. E. Push-over analysis for performance-based seismic design Computers and Structures. 2002. № 80. Pp. 2483-2493.
- [37]. Kartal M. E., Basaga H. B., Bayraktar A., Muvafik M. Effects of semi-rigid connection on structural responses Electronic Journal of Structural Engineering. 2010. Vol. 10. Pp. 22-35.
- [38]. Kaveh A., Nouri M. Weighted graph products for configuration processing of planar and space structures International Journal of Space Structures. 2009. Vol. 24. №1. Pp. 13-26.
- [39]. Kim H. M., Bartkovicz T. J. Damage detection and health monitoring of large space structures Proceedings of the 34th AIAA SDM Conference. La Jolla, California, April, 1993. Pp. 3527-3533.
- [40]. Kohtaro Matsumoto, Sachiko Wakabayashi, Masahiro Noumi, Tetsuji Yoshida, Hiroshi Ueno, Yutaro Fukase Space Truss Handling Experiment on ETS-VII Automation and Robotics in Construction XVI. UC3M. 1999. Pp. 225-230.
- [41]. Ömer KELEŞOĞLU, Mehmet ÜLKER Fuzzy optimization of geometrical nonlinear space truss design Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences. 2005. Vol. 80, № 5. P. 321-329.
- [42]. Pearson J. E., Hansen S. Experimental Studies of a Deformable-Mirror Adaptive Optical System Journal of Optical Society America 1977. № 67 Pp. 360-369.
- [43]. Preumont A. Vibration control of active structures an introduction 2-nd Edition. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2002. 385 p.
- [44]. Tokunbo Ogunfunmi Adaptive Nonlinear System Identification. The Volterra and Wiener Model Approaches. USA: Springer Science+Business Media, LLC, 2007. 229 p.

Deviations in assembly hinged-rod metal coating

A.B. Bondarev¹

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin str., Makiyivka, Donetsk region, Ukraine, 86123.

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 20 February 2015
Accepted 5 March 2015

Keywords

large-span spatial covers,
structural shell,
mounting state,
assembly forcing mathematical
modeling of the assembly,
assembly faults,
semi-active control assembly

ABSTRACT

Brief overview of previous studies and the results of the deviations and defects arising in metal structures at different stages of the life cycle are carried out in this paper. Calculations of accuracy of statistical methods and analysis of results are performed. Possible deviations are assembly pivotally-core cylindrical shell span of 42 m, with a boom lift of 7.5 m. Author used a computer program Computing system "Computer complex dimensional analysis rod structures" (VC DARS) for calculation accuracy. The article discusses the longitudinal and transverse flow diagram of cylindrical shell assembly coatings. Analysis of the results implemented on the situation nodes and rods in space relative to their design values. The developed a computer program for the author's personal computer implements the calculation of spatial dimensional chain master links with several statistical methods. The resulting calculation of the probability of deviation indicates the need for structural measures to ensure the collection of the coating. Designs web interface and mounting method coatings provide his collection without assembly effort proposed by the author and protected by patents. In addition, the use of the proposed solutions will increase the carrying capacity of coatings, vitality, and reduce the complexity collection assembly. Reduction of labor input assembly coatings is achieved through the "active management" build process. Obtained using VC DARS deviations can serve as a basis for evaluating the stress-strain state of coatings, taking into account deviations.

¹

Corresponding author:
+7 (914) 864 5290, bondarev_a_b_rus@mail.ru (Aleksey Borisovich Bondarev, Post-graduate Student)

References

- [1]. A. s. 47952 Ukraine. Computer program «Computing system "Dimensional analysis of frame structures"» («CS DAFS») / A.B. Bondarev, A.M. Yugov (Ukraine). № 48382; preference, 20.12.2012; published, 20.02.2013, Ballot papers № 1. 2 p. (rus)
- [2]. Abovsky N. P. *Upravlyaemye konstruksii*. [Controlled design]. Krasnoyarsk: KamKras, 1998. 433 p. (rus)
- [3]. Alyamovsky A. A., Sobachkin A. A., Odintsov E. V., Kharitonovich A. I., Ponomarev N. B. Solid Works. *Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike*. [Solid Works. Computer modeling in engineering practice]. SPb.: BHV-Petersburg, 2005. 800 p. (rus)
- [4]. Ankin A. V., Kuzminskiy D. L. *Razrabotka programmogo obespecheniya dlya rascheta prostranstvennoj razmernoj tsepi*. [Software to calculate the spatial dimension chains] Proceedings of the MSTU "MAMI". Section 2. Mechanical Engineering and Materials. M.: MAMI, 2011. №2, Vol. 12. Pp. 106-110. (rus)
- [5]. Belostotskij A. M. *Analiz prichin obrusheniya konstruksij pokrytiya SOK «Transvaal'-park»*. *CHast' 1. Postanovka zadach i metodologiya chislennogo modelirovaniya. CHast' 2. Modelirovanie nagruzok i vozdeystvij*. [Analysis of the causes of collapse of roof structures SRC "Transvaal Park". Part 1: Setting objectives and methodology of computational modeling. Part 2. Modeling loads and impacts]. *Vestnik MGSU*. 2006. No. 3. Pp. 20-40. (rus)
- [6]. Buiakas V. I. *Sticheski opredelime reguliruemye struktury i ikh prilozheniya v tekhnicheskikh zadachakh kosmicheskoy astronomii*. [Statically determinate controlled structures and their imposition in engineering problems of space astronomy]. Doctoral Dissertation. Moscow, 2004. 190 p. (rus)
- [7]. Gvamichava A.S. *Razrabotka i vnedrenie konstruktivnykh form i metodov rascheta krupnogabaritnykh kosmicheskikh antennykh sooruzhenij*. [Development and intercalation of design shapes and method of analysis of large-sized space antenna constructions]: Doctoral Dissertation abstract. Special: 05.23.17, 1984. 57 p. (rus)
- [8]. Goldenblat I. I., Nikolaenko N. A., Polyakov S. V., Ulyanov S. V. *Modeli sejsmostojkosti sooruzhenij* [Models of Earthquake Engineering]. M.: Nauka. 1979. 252 p. (rus)
- [9]. GOST 21780-2006. *Sistema obespecheniya tochnosti geometricheskikh parametrov v stroitel'stve. Raschet tochnosti*. [Russian State Standard 21780-2006. System for ensuring the accuracy of the geometric parameters in construction. Calculation accuracy] M.: Publishing standards. 13 p. (rus)
- [10]. Gubaidullin R. G., Sidorov I. V. *Sistema dopuskov i raschet tochnosti stal'nykh konstruksij: Uchebnoe posobie*. [System tolerances and calculation accuracy of steel structures. Textbook]. Chelyabinsk, 1992. 79 p. (rus)
- [11]. DBN B.1.2-2:2006. *Nagruzki i vozdeystviya. Normy proektirovaniya*. [Ukrainian Building Codes B.1.2-2:2006 National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects]. Kyiv: Minbud of Ukraine, 2006. 78 p. (rus)
- [12]. DBN B.2.6-163:2010. *Stroitel'nye materialy i konstruksii. Stal'nye konstruksii. Normy proektirovaniya, izgotovleniya i montazha*. [Ukrainian Building Codes B.2.6-163:2010. The constructions of buildings and structures. The steel constructions. Norms for design, fabrication and erection]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 127 p. (rus)
- [13]. Isaev S. V. *Metodika otsenki linejnoy modeli prostranstvennoj razmernoj tsepi dlya obespecheniya vzaimozamenyaemosti ob'ektov proizvodstva pri sborke*. [Methodology to evaluate the linear model of the spatial dimension chain to ensure interchangeability of production facilities for assembly]. Ph.D. Dissertation Special: 05.11.15. Moscow, 2007. 204 p. (rus)
- [14]. Kashuba L. A. *Geometriya sborki nedeformiruemyykh detalej*. [Deformable geometry of the assembly parts]. System analysis in science and education. Electronic scientific journal. Dubna. 2011. №4. [Electronic resource]. URL: <http://www.sanse.ru/archive/19> (rus)
- [15]. Kolesnikov G. N. *Sticheskiy raschyot i formoobrazovanie nesushhikh karkasov setchatykh obolochek*. [Static calculations and formation of base plates lattice shells]. Ph.D. thesis in Engineering Science. Special: 05.23.01. Rostov-on-Don, 1982. 21 p. (rus)
- [16]. Korczak M. D. *Vliyanie geometricheskikh nesovershenstv na nesushhuyu sposobnost' legkikh metallicheskih konstruksij*. [Influence of geometrical imperfections on the carrying capacity of light metal structures]. Ph.D. Dissertation Special: 05.23.01. Moscow, 1993. 39 p. (rus)
- [17]. Kosorukov V. A. *Vliyanie sluchajnykh pognutostej szhatykh sterzhnej stal'nykh stropil'nykh ferm na ikh nesushhuyu sposobnost'*. [Effect of random bend the compressed rods of steel roof trusses to their load-bearing capacity]. Ph.D. Dissertation Special: 05.23.01. Moscow, 1975. 142 p. (rus)
- [18]. Malkov V. P., Lyubimov A. K., Bureeva N. N. *Nadezhnost' formirovaniya rabochej poverkhnosti zadanoj geometrii fermennykh sistem s uchetom konstruktivnykh dopuskov*. [Reliability formation of the working surface of a given geometry truss systems with regard to construction tolerances] // Building mechanics and calculation of structures. 1989. № 1. Pp. 1-5. (rus)

- [19]. Molev I. V. *Konstruktivnye razrabotki, ehksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya i vnedrenie stal'nykh kupolov*. [Design development, experimental and theoretical research and implementation of steel domes]. Ph.D. thesis in Engineering Science. Special: 05.23.01. Nizhny Novgorod, 1998. 36. (rus)
- [20]. Oplanchuk A. A. *Nesushhaya sposobnost' sterzhnej ferm iz ugol'kov s mestnymi defektami*. [Bearing capacity of the farm over the rods with local defects]: Ph.D. thesis in Engineering Science. Special: 05.23.01. Novosibirsk, 1983. 21 p. (rus)
- [21]. Pat. Number 79680 Ukraine, IPC E04V 1/32; E04V 1/58 *Sposob montazha bol'sheproletnykh sterzhnevyykh metallicheskih pokrytij*. [Installation method of large-core metal coatings] Bondarev A.B., Yugov A.M.; Applicant and patentee Bondarev A.B., Yugov A.M. № u 2012 13187; 19.11.2012 stated; published 25.04.2013, Bulletin № 1. 5 p. (rus)
- [22]. Pat. Number 79683 Ukraine, IPC E04V 1/38; E04V 1/58 *Stykovoe soedinenie sterzhnej s raznymi razmerami poperechnogo secheniya*. [Butt joint rods with different cross-sectional dimensions] Bondarev A.B., Yugov A.M.; Applicant and patentee Bondarev A.B., Yugov A.M. № u 2012 13191; 19.11.2012 stated; published 25.04.2013, Bulletin № 1. 7 p. (rus)
- [23]. Pat. Number 80327 Ukraine, IPC E04V 1/38; E04V 1/58 *Stykovoe soedinenie sterzhnej s ravnymi razmerami poperechnogo secheniya*. [Butt joint rods with equal cross-sectional dimensions] Bondarev A.B., Yugov A.M.; Applicant and patentee Bondarev A.B., Yugov A.M. № u 2012 13193; 19.11.2012 stated; published 25.04.2013, Bull. № 1. 6 p. (rus)
- [24]. Perelmuter A.V. *Upravlenie povedeniem nesushhikh ograzhdayushhikh konstruksij. Izdanie 2-e dopolnennoe i ispravlennoe*. [Control behavior of bearing walling. Edition 2 additions and corrections]. M.: ASV. 2011. 184 p. (rus)
- [25]. Perelmuter A. V. *Proverka ustojchivosti konstrukcij, raschyot kotoryh vypolnyaetsya s uchytom stadijnosti montazha* [Checking the stability of structures, which is calculated based on the staged installation] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. M.: ASV, 2014. Vol. 10(4). Pp. 22-28. (rus)
- [26]. Rabinovich I. M. *Kurs stroitel'noj mekhaniki sterzhnevyykh sistem. Chast' II. Staticheski neopredelime sistemy. 2-e izdanie, pererabotannoe* [The course of structural mechanics of rod systems. Part II. Statically indeterminate system. – 2nd edition, revised]. M.: State Publishing House of Literature on construction and architecture, 1954. 544 p. (rus)
- [27]. User Manual AutoCAD Civil 3D 2009. US: Autodesk. 2008 2452 p.
- [28]. Sno V. E. *Statisticheskij analiz pogreshnostej montazha kolonn karkasnykh zdaniy* [Statistical analysis of installation errors columns frame buildings] Building mechanics and calculation of structures 1984. № 6. P. 5-9. (rus)
- [29]. Sotnikov N. G. *Prochnost' i ustojchivost' ehlementov stal'nykh konstrukcij iz ugol'kov, imeyushchih obshchie i mestnye defekty i povrezhdeniya* [Strength and stability of steel structures of the corners with general and local defects and damages]. Ph.D. Dissertation Special: 05.23.01. Leningrad, 1987. 15 p. (rus)
- [30]. Sitnic B. C. *Kontrol' i obespechenie tochnosti pri vozvedenii zdaniy i inzhenernykh sooruzhenij*. [Monitoring and ensuring accuracy in the construction of buildings and civil engineering]. M.: Stroyizdat. 1977. 177 p. (rus)
- [31]. Shalomeenko M. A. *Razmernyj analiz v Solid Works* [Dimensional Analysis in Solid Works]. // CAD and graphics. Tools APM. 2010, № 10. Pp. 40-42. (rus)
- [32]. Yugov A. M. *Dejstvitel'naya rabota metallicheskih reshlotchatykh konstrukcij s nesovershenstvami* [Real operation of metal grid structures with imperfections]. Ph.D. thesis in Engineering Science. Special: 05.23.01. Odessa, 1988. 200 p. (rus)
- [33]. Charles R. Farrar, Keith Worden, Michael D. Todd, Gyuhae Park, Jonathon Nichols, Douglas E. Adams, Matthew T. Bement, Kevin Farinholt. Impacts of artificial intelligence and optimization on design, construction and maintenance. Los Alamos, New Mexico: Los Alamos. National Laboratory, 2007. 143 p.
- [34]. Chars J. Gantes, Jerome J. Connor, Robert D. Lwxher, Yechiel Rosenfeld Structural analysis and design of deployable structures Computers and Structures. 1989. Vol. 32(3-4). Pp. 661-669.
- [35]. Gaul L., Albrecht H., Wiritzer J. Semi-active friction damping of large space truss structures. Shock and Vibration. 2004. Vol. 11. Pp. 173-186.
- [36]. Hasan R., Xu L., Grierson D. E. Push-over analysis for performance-based seismic design Computers and Structures. 2002. № 80. Pp. 2483-2493.
- [37]. Kartal M.E., Basaga H.B., Bayraktar A., Muvafik M. Effects of semi-rigid connection on structural responses. Electronic Journal of Structural Engineering. 2010. Vol. 10. Pp. 22-35.
- [38]. Kaveh A., Nouri M. Weighted graph products for configuration processing of planar and space structures. International Journal of Space Structures. 2009. Vol. 24. №1. Pp. 13-26.

- [39]. Kim H.M., Bartkowicz T.J. Damage detection and health monitoring of large space structures. Proceedings of the 34th AIAA SDM Conference. La Jolla, California, April, 1993. Pp. 3527-3533.
- [40]. Kohtaro Matsumoto, Sachiko Wakabayashi, Masahiro Noumi, Tetsuji Yoshida, Hiroshi Ueno, Yutaro Fukase Space Truss Handling Experiment on ETS-VII. Automation and Robotics in Construction XVI. UC3M. 1999. Pp. 225-230.
- [41]. Ömer KELEŞOĞLU, Mehmet ÜLKER Fuzzy optimization of geometrical nonlinear space truss design. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 2005. Vol. 80, № 5. P. 321-329.
- [42]. Pearson J.E., Hansen S. Experimental Studies of a Deformable-Mirror Adaptive Optical System. Journal of Optical Society America 1977. № 67 Pp. 360-369.
- [43]. Preumont A. Vibration control of active structures an introduction 2-nd Edition. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2002. 385 p.
- [44]. Tokunbo Ogunfunmi Adaptive Nonlinear System Identification. The Volterra and Wiener Model Approaches. USA: Springer Science+Business Media, LLC, 2007. 229 p.

Бондарев А.Б. Сборочные отклонения в шарнирно-стержневом металлическом покрытии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №3(30). С. 98-110.

Bondarev A.B. Deviations in assembly hinged-rod metal coating. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 3(30), Pp. 98-110. (rus)