

## Расчет и проектирование строительных конструкций

### **МОНТАЖНОЕ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВОГО ПОКРЫТИЯ СКЛАДА ШАРОВ И РЕАГЕНТОВ**

А.М. ЮГОВ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технология и организация строительства ГОУ ВПО «ДонНАСА»  
286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2,  
E-mail: amyrus@mail.ru

А.Б. БОНДАРЕВ, инженер по металлоконструкциям строительной дирекции АО «Рудник имени Матросова», 685000, Магадан, ул. Пролетарская, д. 12  
E-mail: bondarev\_a\_b\_rus@mail.ru, BondarevAB@polyus.com

*В данной статье выполнен обзор ранее проведённых работ по части расчёта точности, определения монтажных нагрузок в металлических конструкциях. Даны результаты исследования монтажного напряжённо-деформированного состояния, возникающего в металлоконструкциях большепролетного шарнирно-стержневого покрытия склада шаров и реагентов. Численное исследование монтажного напряжённо-деформированного состояния выполнено методом конечных элементов, который реализован в вычислительном комплексе SCAD. Также приведена оценка влияния величин монтажных усилий на несущую способность отдельных стержней оболочки покрытия. Представление усилий выполнено в виде гистограмм. Полученные величины усилий указывают, что необходимо разработка мероприятий, направленных на снижение величин начальных усилий, возникающих при сборке покрытия, и соответственно геометрических отклонений в покрытии при его проектировании.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** монтажное напряжённо-деформированное состояние, геометрические отклонения большепролетные металлические пространственные покрытия, монтажные воздействия, математическое моделирование

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что действительная форма и положение узлов шарнирно-стержневой оболочки, а также реальное монтажное напряжённо-деформированное состояние (МНДС) отличаются от состояния, заданного проектом. Следовательно, вопросы, связанные с учётом отклонений в конструкциях при их проектировании и определении МНДС актуальны. Известно, что наличие отклонений, как правило приводит к большому количеству непредвиденных трудовых и финансовых затрат, как правило, не учтённых в стоимости строительного объекта. Накопление отклонений может привести к аварии покрытия, например, как так было с купольным сооружением ВНИЦ ВЭИ им. В.И. Ленина в г. Истра, Московская область, Российская Федерация.

Определение МНДС большепролетных шарнирно-стержневых металлических покрытий с учётом точности изготовления, и последовательности сборки при расчёте конструкций является важной научно-технической задачей. Сетчатые шарнирно-стержневые конструкции подобны по своему устройству кристаллической решётки металла [29]. Учёт отклонений, как правило, выполняется методом статистических испытаний. Для определения и учёта отклонений на этапе проектирования разработана методика расчёта точности большепролетных шарнирно-стержневых металлических покрытий. С целью борьбы с отклонениями разработаны соответствующие конструктивные решения оболочек. Такой комплексный подход к проектированию покрытий позволяет повысить их несущую способность.

В данной статье выполнено определение и анализ МНДС на примере шарнирно-стержневого металлического покрытия склада шаров и реагентов с отклонениями при разных технологических схемах сборки – в продольном направлении (ПДС), и в поперечном направлении (ППС).

#### **ОБЗОР РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В работах А.М. Югова и А.Б. Бондарева исследованы величины отклонений и МНДС шарнирно-стержневых металлических оболочек покрытий. В результате проведённых исследований разработана компьютерная программа и методика для расчёта точности, и методика определения МНДС [2-5, 22].

Для расчёта точности большепролётных шарнирно-стержневых металлических конструкций, а по сути в целях разработки методов прогнозирования возможных отклонений большепролётных купольных покрытий впервые В.А. Савельев совместно с Е.В. Лебедем в ЦНИИПСК им. М.П. Мельникова на основе геометрических процедур, которые аналогичных тем, что используются в геодезии разработали методику определения геометрических отклонений пространственных металлических конструкций в вероятностной постановке как численной имитации на компьютере процесса его сборки и монтажа с использованием метода Монте-Карло. Разработанная В.А. Савельевым и Е.В. Лебедем методика была также реализована в разработанных Е.В. Лебедем программах GENES, SBORKA и MONTAG [10-13]. В.А. Савельев и Е.В. Лебедь использовали программу MONTAG при корректировке проекта главного корпуса ВНИЦ ВЭИ им. В.И. Ленина в Российской Федерации, Московская область, г. Истра по варианту «Цилиндр» [14-17]. Геометрические процедуры, которые используются в программах GENES, SBORKA, MONTAG аналогичны тем, что применяются в геодезии при геодезических построениях, например, при разбивке земельных участков и реализованы, в таких известных программных комплексах как Micro Survey, Autodesk Civil 3D, GEOZEM, Objectland, и других.

В настоящее время Е.В. Лебедь совместно со своими учениками занимается исследованием отклонений в металлических купольных покрытиях, вызванных неточностями изготовления и монтажа, а также анализом НДС металлоконструкций купольных покрытий с учётом отклонений [18, 19, 20].

О.И. Ефимов в своих исследованиях [8] проанализировал работу структурных конструкций с узловыми эксцентриситетами и податливыми узлами. В результате исследований О.И. Ефимов разработал методику расчёта структур с такими отклонениями. Использование целенаправленного введения податливости позволило регулировать усилие в стержнях структурной конструкции и снизить металлоёмкость на 28%.

Д.М. Хусаинов под руководством И.Л. Кузнецова [9, 21] провёл анализ несовершенств, влияющих на работу облегчённых арочных конструкций по результатам натурных обследований эксплуатируемых зданий. Дана оценка действительного состояния арочных зданий по результатам натурных обследований, разработана методика определения допусков на изготовление и монтаж облегчённых арочных зданий, даны рекомендации по повышению качества проектирования, изготовления и монтажа арочных зданий. Рассматривались эти задачи без привлечения современных методов компьютерного моделирования, а именно рассматривался верхний пояс арки как отдельный погнутый стержень, опёртый на упругоподатливые опоры. Возведение малоизученных и недостаточно апробированных и рискованных конструктивных форм, например, как на рис. 1, 2 может привести к аварии покрытия (купол в Истре, аквапарк в Ясенево, Бауманский рынок и многие другие).



Рис. 1. Конструктивная форма стадиона ВТБ Арена парк – Центральный стадион «Динамо», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.



Рис. 2. Конструктивная форма стадиона Олимпийский, г. Киев, Украина

Изучая известные аварии большепролетных покрытий с серьезными последствиями, можно заключить, что их причины ничем не отличаются от причин аварий обычных зданий [6]. Краткий перечень аварий, которые произошли за последние три десятилетия со средней периодичностью раз в два-три года приведены ниже на рис. 3, 4 и заимствовано из работы Д.Ю. Дробот [7]:

- 1985 г. Обрушение купольного сооружения ВИС ВЭИ им. В.И. Ленина (г. Истра, РФ);
- 2004 г. Потеря устойчивости одной из колонн привела к обрушению железобетонной оболочки аквапарка (г. Москва, р-н Ясенево);
- 2006 г. Покрытие Бауманского рынка (г. Москва);
- 2009 г. При запроектной величине ветровой нагрузки произошло обрушение каркасно-тентового покрытия стадиона «Probing Cowboys» (Даллас, США);
- 2009 г. Обрушение половины покрытия еще несданного в эксплуатацию стадиона «Gong Badak».

Техническая комиссия по расследованию причин аварии рассматривала разные версии, но явной причины обрушения купола так и не обнаружила. Наиболее правдоподобной была версия о том, что действительная форма купола значительно отличалась от проектной. Монтаж велся навесным способом снизу

вверх и погрешности монтажа, накапливаясь, уменьшали и без того малую кривизну верхней части купола. В результате верхняя часть купола работала не как оболочка, а скорее, как плита. Более того, во время монтажа уже были неприятности. Некоторые сжатые стержни теряли устойчивость. Причину перегрузки устранили, а погиби, видимо, остались [1].



Рис. 3. Купольное сооружение в г. Истра, Российская Федерация - 1985 г.



Рис. 4. Покрытие стадиона Gong Badak, 2009 г.

Известно, что диссертационные исследования, посвящённые отклонениям, допущенным при монтаже конструкций большепролетных шарнирно-стержневых покрытий, как правило, выполнялись без экспериментальной проверки полученных результатов. Исключение может составить, например работа В.И. Буякаса и А.С. Гвамичавы [23], Gaul L. [24], Kartal M.E. [26], Kim H.M. [28], посвящённые исследованию влияния отклонений на отражательную способность радиотелескопов и потому их результаты не могут быть применены для строительных конструкций.

В результате анализа источников зарубежной литературы следует отметить работы Kaouk, Zimmerman [25], Kaveh A. [27], Tsou P. [31], Chars J. Gantes [32], в которых отражены вопросы вибродиагностики дефектов конструкций антенн, радиотелескопов. Многие из них предлагают установку регуляторов формы для радиотелескопов при их эксплуатации. В зарубежной литературе такие

конструкции называются адаптивными, т.е. приспосабливающимися под условия эксплуатации. Для повышения надёжности конструкций в отдельных работах рекомендуется «управлять их поведением» или создавать так называемые «адаптируемые системы» [28, 30].

### ОБЪЕКТ И ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Цель работы** – оценка МНДС шарнирно-стержневого металлического покрытия склада шаров и реагентов с отклонениями при сборке.

**Объект исследования** – двухпоясное шарнирно-стержневое большепролетное металлическое покрытие склада шаров цилиндрической формы (рис. 5). Покрытие представляет собой двухпоясную оболочку с размерами монтажных блоков в плане 15000×6000 мм, из стали С245, монтажный блок цилиндрического покрытия с маркировкой элементов (рис. 6).

Фасад ангара 1-6

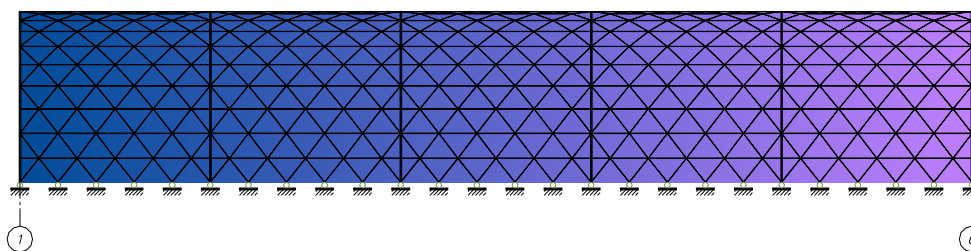


Рис. 5. Фасад двухпоясного шарнирно-стержневого большепролетного металлического покрытия склада шаров и реагентов цилиндрической формы

Жесткостные характеристики элементов определены в предположении, что гибкость  $\lambda = 120$ . Радиус покрытия – 15 м. Распор цилиндрического покрытия гасится жёстким соединением его опорных конструкций с основанием. При разработке проекта принята поэлементная схема сборки монтажных блоков покрытия на подмостях. После собранной монтажный блок покрытия устанавливается стреловым краном на опору.

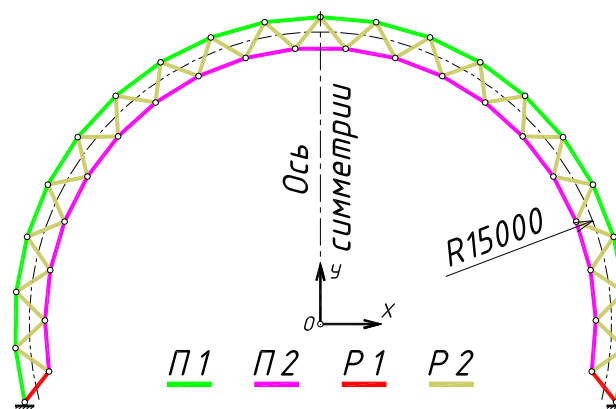


Рис. 6. Поперечная диафрагма двухпоясного шарнирно-стержневого большепролетного металлического покрытия склада шаров и реагентов цилиндрической формы

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Монтажное воздействие – нагрузка от сборочных отклонений, которые определены расчётом собираемости. В качестве расчётной схемы покрытия принят фрагмент пространственной шарнирно-стержневой системы (рис. 7). Статический расчёт выполнен методом конечных элементов (МКЭ) с использованием вычислительного комплекса (ВК) SCAD 11.5.

Примыкание пространственного блока цилиндрического покрытия к колонне принято жёстким. Стержни покрытия по типу конечного элемента являются пространственными (элемент пространственной фермы), степени свободы XYZ положение произвольное. Расчётная схема монтажного блока покрытия состоит из 95 узлов и 560 элементов (рис. 8).

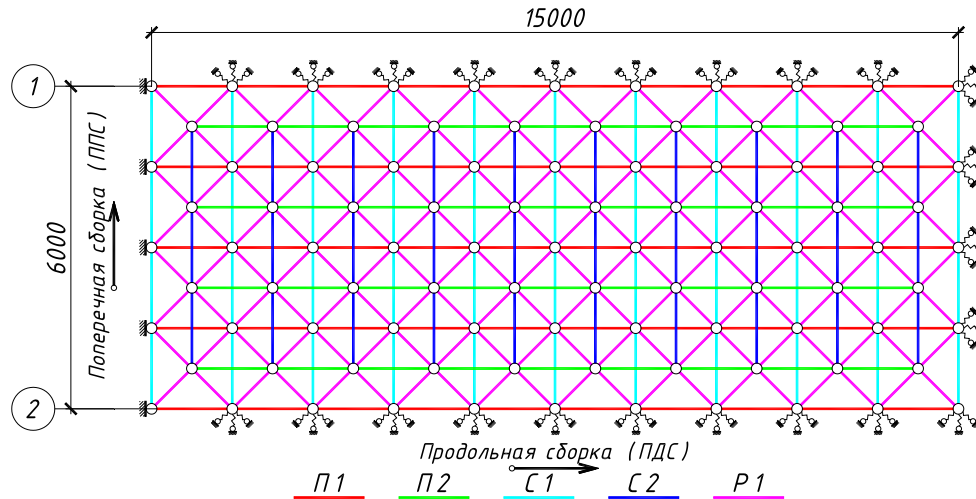


Рис. 7. Схема исследуемого монтажного блока с указанием марок элементов, габаритов и направления сборки

При формировании расчётной схемы учтено, что она будет пространственной, а система координат будет Декартовой (плоскость XOZ, YOZ и XOY). Для определения и анализа МНДС покрытия выполнено моделирование отклонений в стержнях при помощи температурного воздействия, действующего вдоль замыкающих стержней покрытия.

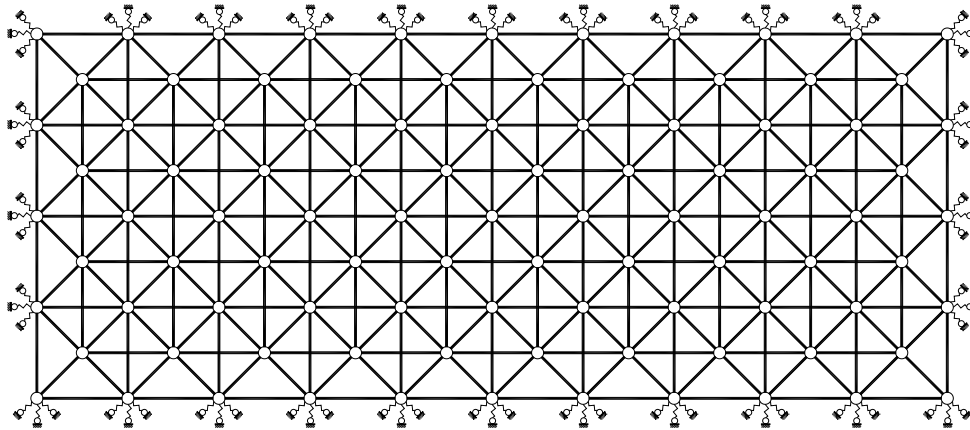


Рис. 8. Расчётная схема исследуемого монтажного блока

При определении монтажных усилий, возникающих от отклонений длин стержней оболочки рассмотрены следующие последовательности сборки – продольная (ПДС) и поперечная (ППС) сборка.

При расчёте, будем принимать что: изменение жёсткости покрытия в процессе сборки происходит за счёт изменения расчётных схем при сборке – реализовано в ВК SCAD 11.5, путём применения модуля «МОНТАЖ»; отклонения будут рассмотрены для идеальной расчётной схемы, т.е. без отклонений узлов оболочки; МНДС проанализировано только в ВК SCAD 11.5; только температурным воздействием, действующим вдоль продольной оси элемента – таким образом, смоделировано отклонение длины элемента. К рассмотрению приняты

только отклонения нормативных допусков на изготовление в соответствии с ГОСТ 23118-99 и монтаж с СП 70.13330.2012; отклонения элементов подчинены нормальному закону распределения и будут рассмотрены статистическим методом. Формирование расчётной схемы и расчёт оболочки в ВК SCAD 11.5 сводится к: определению её геометрических размеров; заданию геометрических характеристик сечений элементов; вводу координат узлов расчётной схемы; заданию жёсткостей элементов; заданию узлов её крепления с колонной; нумерации узлов и элементов выполнена путём генератора расчётной схемы в среде ВК SCAD; заданию действующих нагрузок и собственно расчёт.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ МОНТАЖНЫХ УСИЛИЙ

Анализ результатов расчёта МНДС покрытия с учётом отклонений выполнен путём сравнения проектных усилий (напряжений) в элементах с дополнительными (монтажными) усилиями (напряжениями), вызванными неточностями изготовления и монтажа.

Для анализа МНДС покрытия с учётом отклонений рассмотрен монтажный блок цилиндрического покрытия. В результате расчёта покрытия с учётом отклонений получены величины сборочных усилий в элементах при продольной и поперечной сборке (рис. 9...10). На гистограммах приведены усилия от основного сочетания нагрузок ( $N_{эл.}$ ), и суммарные ( $N_1...N_4$ ). Поясним обозначения принятые, на гистограммах (рис. 5...6): 1 – усилие в элементе от основного сочетания нагрузок ( $N_{эл.}$ ); 2 – усилие в элементе от отклонений изготовления при поперечной сборке – ППС ( $N_1$ ); 3 – усилие в элементе от отклонений изготовления при продольной сборке – ПДС ( $N_2$ ); 4 – усилие в элементе от отклонений монтажа при поперечной сборке – ППС ( $N_3$ ); 5 – усилие в элементе от отклонений монтажа при продольной сборке – ПДС ( $N_4$ ). Под значением суммарного усилия приведена величина перегрузки сечения в долях от единицы. Несущая способность элемента, показана на гистограмме как  $N_{max}$ .

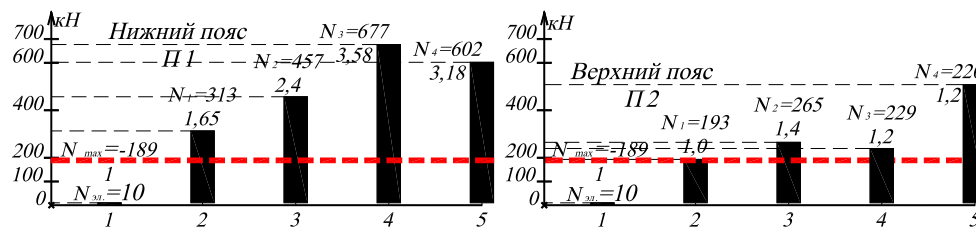


Рис. 9. Величины усилий в элементах П1, П2.

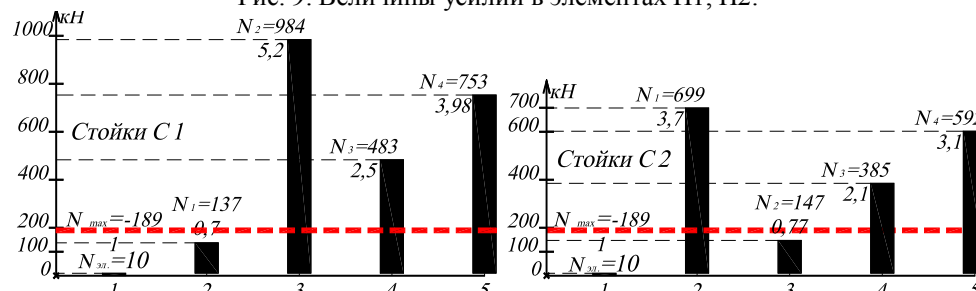


Рис. 10. Величины усилий в элементах С1, С2.

На гистограммах представлено изменение величин сборочных усилий по отношению к несущей способности сечения стержней. Несущая способность стержня на каждой гистограмме принята за 1, а величина сборочного усилия по отношению к несущей способности показана в частях от 1. Например, для элемента П1-П2 величина перегрузки сечения от действия сборочного усилия при поперечной сборке  $N_2 = 1,65$  или 65% (рис. 4). В элементе С1-С2 максимальное

усилие от расчётной нагрузки составляет  $N_{эл.} = 10$  кН. Максимальная величина дополнительного усилия от отклонений при ППС сборке от неточностей монтажа составляет  $N_{ппс} = 303$  кН. Величина суммарного усилия в элементе от отклонений изготовления при поперечной сборке составляет  $N_1 = N_{эл.} + N_{ппс} = 10 + 303 = 313$  кН, где  $N_{ппс}$  – усилие в элементе от отклонений изготовления при поперечной сборке. Величина перегрузки элемента определено по отношению к 1, т.е. Несущая способность  $N_{max} = 189$  кН – 1, а суммарное усилие  $N_1 = 313$  кН. Величина перегрузки равняется отношению  $N_{max}/N_1 = 313/189 = 1,65$ .

Аналогично определены значения усилий во всех остальных элементах оболочки, возникающие в них от отклонений. На остальных гистограммах обозначения будут аналогичные. С целью повышения надёжности большепролетного покрытия авторами рекомендуется разработка конструктивных мероприятий, направленных на «управление отклонениями». Под «управлением отклонениями» в данной статье подразумевается такой способ монтажа, при котором будет выполняться корректировка положения элементов и узлов покрытия, что позволяет устранить отклонения, и снизить величины монтажных (сборочных) усилий до малозначительного уровня.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов можно сделать такие выводы:

1. Выполнен обзор и анализ ранее выполненных исследований как в части расчёта точности, так и учёта отклонений на монтажное напряжённо-деформированное состояние строительных конструкций.

2. Разработана компьютерная программа для расчёта точности шарнирно-стержневых большепролетных пространственных металлических покрытий, а также методика определения МНДС. Разработанные методики определения МНДС и ВК РАСК позволяют учесть длину стержней, форму отверстий (эллиптичность) и связность системы, что делает их более современными в настоящее время при сравнении с другими известными способами и программами расчёта точности и определения НДС конструкций.

3. При выполнении сборки покрытия по схеме ПДС и ППС усилия крайне разнообразны, однако рекомендуется принять сборку покрытия ППС, т.к. при этом влияние сборочных отклонений на МНДС покрытия будет меньшим, чем при сборке ПДС.

### Л и т е р а т у р а

1. *Арошенко М.* Тайны стальных конструкций. [Текст] / М. Арошенко, В. Гордеев, И. Лебедич – К.: Сталь. – 2004. – 304 с.

2. *Бондарев А.Б.* Методика определения монтажного напряжённо-деформированного состояния большепролётных шарнирно-стержневых металлических покрытий [Текст] / А.Б. Бондарев // Металлические конструкции. – 2016. – Том. 22. – №2. – С. 67-82.

3. *Бондарев А.Б.* Методика расчёта точности большепролетных шарнирно-стержневых металлических покрытий [Текст] / А.Б. Бондарев, А.М. Югов // Инженерно-строительный журнал. – 2016. – Том. 61. – №1. – С. 60-73.

4. *Бондарев А.Б.* Оценка монтажных усилий в металлическом покрытии с учётом сборки [Текст] / А.Б. Бондарев, А.М. Югов // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – № 4 (56). – С. 28-37.

5. *Бондарев А.Б.* Сборочные отклонения в шарнирно-стержневом металлическом покрытии [Текст] / А.Б. Бондарев // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – Том. 30. – № 3. – С. 98-110.

6. *Добромыслов А.Н.* Ошибки проектирования строительных конструкций: Научное издание. [Текст] / А.Н. Добромыслов – М.: АСВ. – 2007. – 184 с.



7. *Дробот Д.Ю.* Живучесть большепролётных металлических покрытий: Диссертация кандидата технических наук / Дмитрий Юрьевич Дробот. – М.: МГСУ. 2010. – 212 с.
8. *Ефимов О.И.* Влияние податливых соединений и узловых эксцентриситетов на работу структурных конструкций [Текст]: диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук / Олег Иванович Ефимов. – Казань: КазГАСА. – 1982. – 152 с.
9. *Кузнецов И.Л.* Облегчённые конструкции арочных зданий (Исследование, разработка, внедрение): Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук / Иван Леонидович Кузнецов. – Казань: КазИСИ. – 1995. – 426 с.
10. *Лебедь Е.В.* Анализ искажений геометрической формы при сборке составных металлических конструкций [Текст] / Е.В. Лебедь, О.В. Шебалина // Промышленное строительство. – 1992. – № 5. – С. 23-24.
11. *Лебедь Е.В.* Анализ начальных усилий секторально-сетчатого купола при полносборной установке в сравнении со звездчатым куполом [Текст] / Е.В. Лебедь, В.А. Етеревский // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. РУДН. – 2012. – № 4. – С. 91-98.
12. *Лебедь Е.В.* Влияние монтажных расчётных схем рёбер двухпоясного металлического купола на начальные усилия при устранении погрешностей [Текст] / Е.В. Лебедь, А.А. Григорян // Вестник МГСУ. – 2015. – № 8. – С. 66-79.
13. *Лебедь Е.В.* Исследование начальных усилий в двухпоясном металлическом куполе при устранении кольцевых погрешностей монтажа [Текст] / Е.В. Лебедь, А.А. Григорян // Вестник МГСУ. – 2016. – № 4. – С. 36-51.
14. *Лебедь Е.В.* К расчёту точности сборки составной конструкции [Текст] / Е.В. Лебедь, О.В. Шебалина // Промышленное и гражданское строительство. – 1993. – № 9. – С. 27-28.
15. *Лебедь Е.В.* Компьютерное моделирование точности возведения двухпоясных металлических куполов [Текст] / Е.В. Лебедь // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №12. – С. 89-92.
16. *Лебедь Е.В.* Начальные усилия в стержнях односетчатого купола из-за несовершенства его формы при полносборной установке [Текст] / Е.В. Лебедь, В.А. Етеревский // Вестник МГСУ. – 2011. – Том. 2. – № 2. – С. 137-144.
17. *Лебедь Е.В.* Особенности численного моделирования монтажа каркаса односетчатого купола [Текст] / Е.В. Лебедь // ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – ВолгГАСУ. – 2003. Выпуск 3(9). – С. 81-86.
18. *Лебедь Е.В.* Прогнозирование погрешностей возведения большепролётных металлических куполов на основе геометрического моделирования их монтажа [Текст]: диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук. / Евгений Васильевич Лебедь. – М.: ЦНИИПСК им. Мельникова. – 1988. – 171 с.
19. *Савельев В.А.* Математическое моделирование монтажа пространственных конструкций [Текст] / В.А. Савельев, Е.В. Лебедь, О.В. Шебалина // Промышленное строительство. – 1991. – № 1. – С. 18-20.
20. *Савельев В.А.* Теоретические основы проектирования металлических куполов [Текст]: автореферат диссертации на соискание научной степени доктор технических наук / Виталий Алексеевич Савельев. – М.: ЦНИИСК им. Мельникова. – 1995. – 40 с.
21. *Хусаинов Д.М.* Повышение качества проектирования изготовления и монтажа каркасных облегчённых арочных зданий [Текст]: диссертация на соискание научной степени кандидат технических наук / Дамир Миннигалиевич Хусаинов. – Казань: КГАСА. – 1996. – 252 с.
22. *Bondarev A.B., Yugov A.M.* The Method of Generating Large-Span Rod Systems with the Manufacturer Defect and Assembly Sequence. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. pp. 953-963.
23. *Bujakas V.I., Gvamichava A.S., Rybakowa A.G.* Petal-Type Deployable Space Antennas for Radio Astronomy. *Proceedings of Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS)*. Hong Kong. 1997. Vol. 2. pp. 380.
24. *Gaul L., Albrecht H., Wirtitzer J.* Semi-active friction damping of large space truss structures. *Shock and Vibration*. 2004. Vol. 11. pp. 173-186.

25. *Kaouk Zimmerman* Structural damage assessment using a generalized minimum rank perturbation theory. Proceedings of the 34th AIAA SDM Conference. La Jolla. California. 1993. pp. 1529-1538.

26. *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.

27. *Kaveh A., Nouri M.* Weighted graph products for configuration processing of planar and space structures. International Journal of Space Structures. Vol. 24. No. 1. 2009. pp. 13-26.

28. *Kim H.M., Doiron H.H.* On-orbit modal identification of large space structures. Sound and Vibration. Vol. 26. No. 6. 1992. pp. 24-30.

29. *Makowski Z.S.* Development of jointing systems for modular prefabricated steel space structures. Proc. of the International Symposium. Warsaw: Poland. 2002. pp. 17-41.

30. *Premont, A.* Vibration control of active structures an introduction 2-nd Edition. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2004. 385 p.

31. *Tsou P., Shen M.-H.* Structural damage detection and identification using neural network. Proc. of the 34th. SDM Conference. La Jolla, California. 1993. pp. 3551-3560.

32. *Yin Yue Huang Xin, Han Qinghua, Bail Linjia* Study on the accuracy of response spectrum method for long span reticulated shells. International Journal of Space Structures 2009. Vol. 24. No. 1. pp. 27-35.

#### References

1. *Aroshenko M. Gordeev M., Lebedich I.* Secrets of steel structures. Kiev. 2004. 304 p.
2. *Bondarev A.B.* The Method of Determination of Mounting Stress-Strain State-Span Hinge-Rod Metal Coatings. *Metal Constructions*. 2016. Volume 22. No. 2. pp. 67-82.
3. *Bondarev A.B., Yugov A.M.* The method of calculating the accuracy of large-span metal rod systems. *Magazine of Civil Engineering*, 2016. No. 1(61). pp. 60-73.
4. *Bondarev A.B., Yugov A.M.* Evaluation of installation efforts in metal coatings, allowing for assembly process. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. No. 4(56), pp. 28-37.
5. *Bondarev A.B.* Deviations in assembly hinged-rod metal coating. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 3(30). pp. 98-110.
6. *Dobromyslov A.N.* The errors of structural design: Scientific publication. Moscow. ASV. 2007. 184 p.
7. *Drobot D.Y.* Vitality-span metal coatings: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering. Moscow. 2010. 212 p.
8. *Efimov O.I.* Impact of compliant connections and nodal eccentricity on the work of the structural units: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering. Kazan. 1982. 152 p.
9. *Kuznetsov I.L.* Stripped out construction arch buildings (Research, development, implementation): The thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences. Kazan. 1995. 426 p.
10. *Lebed E.V., Shebalina O.V.* Analysis of distortions of the geometric shape in the assembly of composite. *Metal Structures. Industrial Construction*. 1992. No. 5. pp. 23-24.
11. *Lebed, E.V., Eterevsky V.A.* Analysis of initial stresses in a sectorial-lattice dome during installation as an assembled structure in comparison with a starlattice dome. *Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Researches*. 2012. No. 4. pp. 91-98.
12. *Lebed E.V., Grigoryan A.A.* Influence of assembly analytical models of the ribs of a double-layer metal dome on the initial forces in case of elimination of imperfections. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. 2015. No. 8. pp. 66-79.
13. *Lebed E.V., Grigoryan A.A.* Examination of initial efforts in two-zone metal dome while eliminating mounting errors of annular. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. 2016. No. 4. pp. 36-51.
14. *Lebed E.V., Shebalina O.V.* Calculation of the Accuracy of Composite Structures Assembling. *Industrial and Civil Engineering*. 1993. No. 9. pp. 27-28.
15. *Lebed E.V.* Computer Modeling of the Accuracy of Erecting Two-Layer Metal Domes. *Industrial and Civil Engineering*. 2013. No. 12. pp. 89-92.
16. *Lebed E.V., Eterevsky V.A.* Initial stresses in the bars of a one-layer lattice dome due to the imperfections of its form during installation as an assembled structure. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. 2011. Vol. 2. No. 2. pp. 137-144.
17. *Lebed E.V.* Particularities of numerical simulation of carcassing of single-grid dome. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture*. 2003. Issue 3(9). pp. 81-86.

18. *Lebed E.V.* Forecasting of errors of large-span metal dome construction based on geometric modeling of their installation: the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Candidate of Engineering. Moscow. 1988. 171 p.
19. *Savelev V.A., Lebed E.V., Shebalina O.V.* Mathematical Modeling of Spatial Structures Installation. *Industrial Construction*. 1991, No. 1. pp. 18-20.
20. *Savelyev V.A.* Theoretical foundations of metal cupolas: Author's abstract the thesis submitted for the Scientific Degree on competition of Doctor of Engineering. Moscow. 1995. 40 p.
21. *Khusainov D.M.* Improving the quality of manufacturing design and installation of lightweight frame arch buildings: the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences Kazan. 1996. 252 p.
22. *Bondarev A.B., Yugov A.M.* The Method of Generating Large-Span Rod Systems with the Manufacturer Defect and Assembly Sequence. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. pp. 953-963.
23. *Bujakas V.I., Gvamichava A.S., Rybakova A.G.* Petal-Type Deployable Space Antennas for Radio Astronomy. *Proceedings of Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS)*. Hong Kong. 1997. Vol. 2. pp. 380.
24. *Gaul L., Albrecht H., Wirmitzer J.* Semi-active friction damping of large space truss structures. *Shock and Vibration*. 2004. Vol. 11. pp. 173-186.
25. *Kaouk Zimmerman* Structural damage assessment using a generalized minimum rank perturbation theory. *Proceedings of the 34th AIAA SDM Conference*. La Jolla, California. 1993. pp. 1529-1538.
26. *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.
27. *Kaveh A., Nouri M.* Weighted graph products for configuration processing of planar and space structures. *International Journal of Space Structures*. Vol. 24. No. 1. 2009. pp. 13-26.
28. *Kim H.M., Doiron H.H.* On-orbit modal identification of large space structures. *Sound and Vibration*. Vol. 26. No. 6. 1992. pp. 24-30.
29. *Makowski Z.S.* Development of jointing systems for modular prefabricated steel space structures. *Proceedings of the international symposium*. Warsaw: Poland. 2002. pp. 17-41.
30. *Premont, A.* Vibration control of active structures an introduction 2-nd Edition. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers, 2004. 385 p.
31. *Tsou P., Shen M.-H.* Structural damage detection and identification using neural network. *Proceedings of the 34th. SDM Conference*. La Jolla, California. 1993. pp. 3551-3560.
32. *Yin Yue Huang Xin, Han Qinghua, Bail Linjia* Study on the accuracy of response spectrum method for long span reticulated shells. *International Journal of Space Structures* 2009. Vol. 24. No. 1. pp. 27-35.

#### **MOUNTING STRESS-STRAIN STATE OF JOINT-ROD COVERINGS OF DEPARTMENT OF BALLS AND REAGENTS**

A.M. YUGOV, *DSc (Eng.), professor, Head Department of Technology and building organization*

**Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture**  
286123, Makeyevka, Derzhavin st., 2,  
E-mail: amyus@mail.ru

BONDAREV A.B., *engineer, metal structures construction management*  
**Joint Stock Company "Matrosov Mine" (JSC «RiM»)**  
12, Proletarskaya Str., Magadan, 685000, Russian Federation  
E-mail: bondarev\_a\_b\_rus@mail.ru, BondarevAB@polyus.com

This article gives an overview of previously carried out work on the accuracy of the calculation, determine the mounting loads of metal structures. Given the results of the study of the mounting stress-strain state, which occurs in structures-span hinge-rod cover warehouse balls and reagents. Numerical study of the mounting stress-strain state is made by finite element method, which is implemented in the computing complex SCAD. Also, see impact assessment values installation effort on the carrying capacity of the individual rods coated. Presentation of the efforts made in the form of histograms. The values obtained efforts indicate that the development of measures necessary to reduce the value of the initial forces generated during *assembly cover and respectively the geometrical deviations in the coating in its design*.

**KEY WORDS:** mounting stress-strain state, geometric deviations spatial-span metal coating, installation impact, mathematical modeling