



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2013, ТОМ 19, НОМЕР 3, 137–142

УДК 624.072.33

(13)-0291-1

## **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЗБИРАЛЬНИХ ЗУСИЛЬ У ВЕЛИКОПРОГОНОВІЙ ПРОСТОРОВІЙ СТЕРЖНЬОВІЙ СИСТЕМІ**

**А. М. Югов, О. Б. Бондарев**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.  
E-mail: amyrus@mail.ru*

*Отримана 13 червня 2013; прийнята 27 вересня 2013.*

**Анотація.** У статті запропоновано методику визначення збиральних зусиль у великопрогоновій стержньовій системі із урахуванням послідовності зведення. Наведена блок-схема алгоритму методики визначення зусиль збирання на основі обчислювального комплексу розмірного аналізу стержньових конструкцій. Запропонована методика оцінки напружено-деформованого стану стержньової системи із урахуванням монтажних впливів, тобто зусиль збирання, може бути використана при реальному проектуванні. Загальна форма об'єктів, що проектуються, може бути різноманітна: циліндрична, сферична, еліптична, тороїдальна, конічна та інша. Найкращим чином методика може бути застосована для прогнозування збиральних зусиль просторових великопрогонових покриттів, ґратчастих веж, опор ліній електропередач та інших, які виконані у вигляді стержньових систем (як правило, з металоконструкцій), як при їх проектуванні, так і оцінці вже експлуатованих.

**Ключові слова:** великопрогонові стержньові металеві системи, похибки збирання, монтажні навантаження, розмірний ланцюг, напружено-деформований стан, МСЕ.

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СБОРОЧНЫХ УСИЛИЙ В БОЛЬШЕПРОЛЁТНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЕ**

**А. М. Югов, А. Б. Бондарев**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.  
E-mail: amyrus@mail.ru*

*Получена 13 июня 2013; принята 27 сентября 2013.*

**Аннотация.** В статье предложена методика определения сборочных усилий в большепролётной стержневой системе с учётом последовательности возведения. Дана блок-схема алгоритма методики определения сборочных усилий на основе вычислительного комплекса размерного анализа стержневых конструкций. Предлагаемая методика оценки напряжённо-деформированного состояния стержневой системы с учётом монтажных воздействий, т. е. сборочных усилий, может быть использована при реальном проектировании. Общая форма проектируемых объектов может быть разнообразна: цилиндрическая, сферическая, эллиптическая, тороидальная, коническая и другая. Наилучшим образом методика может быть применена для прогнозирования сборочных усилий пространственных большепролётных покрытий, решетчатых башен, опор линий электропередач и других, которые выполнены в виде стержневых систем (как правило, из металлоконструкций), как при их проектировании, так и оценке уже эксплуатируемых.

**Ключевые слова:** большепролётные стержневые металлические системы, погрешности сборки, монтажные нагрузки, размерная цепь, напряжённо-деформированное состояние, МКЭ.

## ASSEMBLY EFFORTS IN WIDE-SPAN SPATIAL ROD SYSTEM DETERMINING TECHNIQUE

Anatoliy Yugov, Alexey Bondarev

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: amyus@mail.ru*

*Received 13 June 2013; accepted 27 September 2013.*

**Abstract.** The paper proposed a technique of determining of the assembly effort to wide-span system with the sequence of erection. Control-flow chart of technique of determining of the assembly efforts based on computational analysis of complex dimensional bar structures has been given. The proposed technique of estimating of the stress-strain state of the rod system with the installation of impacts, assembly forces may be used in the process of real designing. The general form of designed objects can be varied: cylindrical, spherical, elliptical, toroidal, conical and the other. Best technique can be applied to predict the spatial assembly efforts of span of coatings, lattice towers, power transmission line support and others which are in the form of rod systems (usually of metal), both in their design and evaluation of already exploited.

**Keywords:** spatial-span metal systems, assembly errors, mounting stress, dimensional chain, stress-strain state, FEM.

### Введение

Проектирование большепролётных пространственных систем представляет собой многоуровневый и многоплановый процесс получения и обработки информации. Начинается проектирование с обработки исходной информации, связанной с объектом проектирования, которая многократно преобразуется в процессе проектирования, и завершается окончательной информацией в виде полного комплекта проектной документации.

Применение компьютера в этом процессе позволяет не только автоматизировать рутинный труд по созданию формализованной информации о спроектированном объекте, но и обеспечивает повышение качества проектных решений и, как следствие, повышение надёжности и долговечности сооружения. Кроме того, при проектировании объектов необходимо учитывать особенности их работы, в чём персональный компьютер оказывает неоценимую помощь, к примеру, для большепролётных стержневых систем, в особенности для покрытий необходимо учитывать сборочные погрешности и напряжения, возникающие в них при изготовлении и монтаже [14, 15].

### Постановка проблемы

При возведении металлических каркасов большепролётных покрытий, состоящих из большого количества элементов, накапливаются погрешности геометрической формы отдельных монтажных элементов. Накопление погрешностей при сборке приводит к искажению геометрической формы покрытия в целом. Такие погрешности называются сборочными. Сборочные погрешности, как правило, связаны с отклонением при неточном изготовлении и монтаже элементов. В статически неопределимых стержневых конструкциях сборочные погрешности не только изменяют её номинальную форму и влияют на собираемость, но и вызывают сборочные усилия [4, 10].

Своевременная оценка погрешностей сборки на напряжённо-деформированное состояние конструкции позволит избежать выполнения дополнительных подгоночных операций при монтаже и повысить надёжность сооружений. Наличие сборочных напряжений может привести к аварии строительных конструкций, и в особенности это высказывание относится к большепролётным покрытиям [2, 3, 8]. Существующие методики оценки влияния сбороч-

ных погрешностей на напряжённно-деформированное состояние конструкций не учитывают особенностей возведения и многосвязности большепролётных металлических стержневых покрытий [1, 6, 11, 12, 16].

### Цель и объект исследования

**Цель работы** – предложить методику определения сборочных усилий в большепролётной стержневой системе на основе определения сборочных погрешностей графоаналитическим методом [13], реализованным в вычислительном комплексе размерного анализа стержневых конструкций [5], учитывающим особенности возведения и многосвязность многоэлементных систем. **Объект исследования** – большепролётные стержневые металлические конструкции.

### Методика исследований

Для адекватной оценки влияния сборочных усилий на напряжённно-деформированное состояние строительных конструкций необходимо получить исходные данные – сборочные погрешности. Для этого выполняется численное моделирование монтажа действительной геометрической формы сооружения, которое производится посредством её геометрического построения, т. е. моделирование возможность которого обеспечивается ВК РАСК [5]. Для построения используются расчётные линейные геометрические параметры монтажных элементов, выбираемые в соответствии с их конструктивно-технологическими особенностями и полностью описывающие заданную в проекте форму сооружения или его отдельной части.

По результатам расчёта собираемости в ВК РАСК формируется отчет. Информация в нём доступна для последующей обработки, то есть служит исходными данными для оценки величин начальных усилий от несовершенств (дефектов изготовления и монтажа) на параметры напряжённно-деформированного состояния. Полученные из расчёта собираемости объекта величины отклонений служат дополнительной нагрузкой.

Достаточно точную оценку сборочных усилий (напряжений) в оболочках покрытия можно получить с помощью метода конечных элементов (МКЭ). На целесообразность исполь-

зования температурной нагрузки на конечный элемент (КЭ) МКЭ при исследовании напряжённно-деформированного состояния элементов стержневых конструкций с учетом несовершенств указывается в работах М. В. Моисеева [10], А. Ю. Абусамры Атталмана [1]. Потому для определения и анализа действительного напряжённно-деформированного состояния расчет выполнен с помощью температурной нагрузки, действующей на стержни конструкции относительно их продольной оси. Необходимо заметить, что загрузка конструкции нагрузкой от погрешностей сборки необходимо назвать **монтажным нагружением** [9], которое, к сожалению, сегодня попросту отсутствует в отечественных нормах [7].

В работе авторов данной статьи [12] например для конструкций плоской П-образной рамы выполнено обоснование применения температурной нагрузки к моделированию погрешностей на её напряжённно-деформированное состояние. Однако ни одна из рассмотренных выше работ не учитывает технологическую последовательность возведения сооружения и накопление погрешностей при сборке.

Следующим этапом к определению теоретического напряжённно-деформированного состояния элементов конструкции с учётом сборочных погрешностей является определение величины температурной нагрузки. Этой нагрузкой смоделировано в программном комплексе (ПК) StructureCAD полученные из расчёта собираемости отклонения длин элементов, возникающие от неточности её сборки. Величину температурной нагрузки, при которой элемент увеличится в длину, определим по формуле 4.23 [4]:

$$\Delta t = \delta_i / (\alpha_i \times l_i), \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – величина температурного воздействия, необходимая для перемещения стержня на единицу длины;

$\delta_i$  – величины перемещения в стержне оболочки, полученные из расчёта собираемости;

$\alpha_i$  – коэффициент линейного расширения материала (сталь) стержня,  $\alpha_i = 0,12 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

$l_i$  – номинальная длина стержня оболочки по проекту.

Технологическую последовательность определения теоретического напряжённно-деформированного

состояния покрытия с дефектами изготовления и монтажа – сборочными погрешностями можно представить в виде таких отдельных этапов:

- определяем величины сборочных погрешностей графоаналитическим методом [13] с помощью ВК РАСК [5];
- определяем величину температурного воздействия на стержень – монтажной нагрузки;
- выполняем создание расчётной схемы в ПК StructureCAD и создаём отдельное загружение конструкции монтажными нагрузками;
- анализируем результаты и при необходимости выполняем корректировку модели, если это возможно;
- предлагаем и разрабатываем при необходимости конструктивные, технологические мероприятия по снижению влияния погрешностей сборки на напряжённо-деформированное состояние конструкции.

Блок-схема алгоритма методики определения сборочных напряжений представлена на рисунке.

Используя предлагаемую методику, авторы данной статьи в работах [14, 15] определили сборочные погрешности и параметры напряжённо-деформированного состояния, т. е. сборочных усилий, в однопоясной цилиндрической оболочке покрытия.

## Заключение

В данной статье разработана методика определения сборочных усилий в большепролётной стержневой системе на основе определения сборочных погрешностей графоаналитическим методом [13], реализованным в вычислительном комплексе размерного анализа стержневых конструкций [5].

Предлагаемая методика:

- максимально приближена к процессу реального накопления погрешностей при возведении сооружений и потому имеет преимущества по сравнению с другими способами определения возможных начальных усилий;
- позволяет предусмотреть возможность корректировки пространственного положения конструктивных частей или блоков во время монтажа;
- наряду со статическим расчётом по методу Мора позволяет исследовать возможные искажения геометрической формы пространственных сооружений.

Авторами предложено загружение конструкции нагрузкой от погрешностей сборки назвать **монтажным загружением**, которое, к сожалению, сегодня попросту отсутствует в отечественных нормах [7].

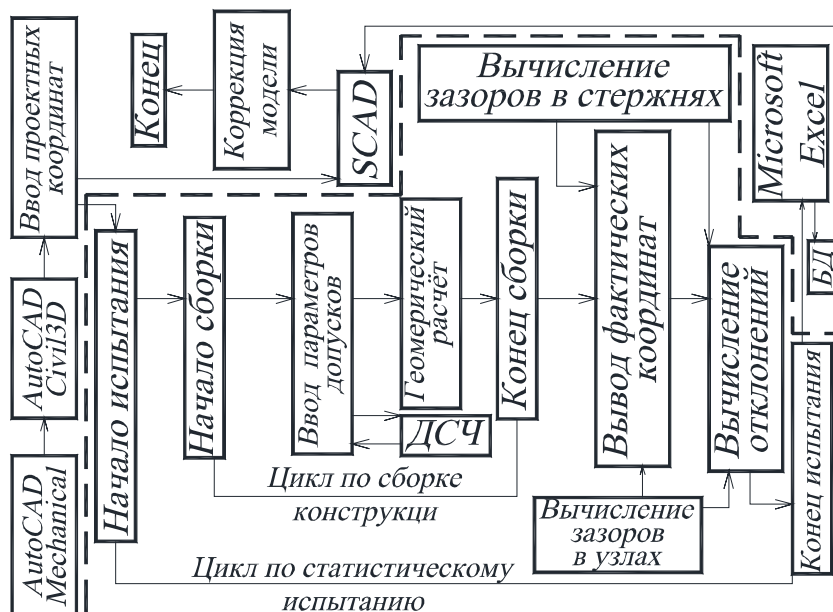


Рисунок. Блок-схема алгоритма методики определения сборочных напряжений.

## Литература

1. Абусамра Атталман, Ю. А. Влияние начальных несовершенств конструкций двухъярусных сетчатых куполов на их несущую способность [Текст] : диссертация ... кандидата технических наук / Ю. А. Абусамра Атталман. – Ростов-на-Дону, 2006. – 148 с.
2. Арошенко, М. Тайны стальных конструкций [Текст] / М. Арошенко, В. Гордеев, И. Лебедич. – К. : Сталь, 2004. – 304 с.
3. Белостоцкий, А. М. Численное моделирование в экспертных исследованиях причин обрушения и локального разрушения конструкций болшепролётных зданий [Текст] / А. М. Белостоцкий // International journal for computational civil and structural engineering. – М., 2008. – Vol. 4, Issue 2. – С. 26–27.
4. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов [Текст] / Н. М. Беляев. – М. : Наука, 1965. – 856 с.
5. А. с. 47952 Украина. Компьютерная программа «Вычислительный комплекс "Размерный анализ стержневых конструкций"» («ВК РАСК») [Текст] / А. Б. Бондарев, А. М. Югов (Украина). – № 48382 ; заявл. 20.12.2012 ; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 1. – 2 с.
6. ГОСТ 21779-82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски [Текст]. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 14 с.
7. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 78 с.
8. Добромислов, А. Н. Ошибки проектирования строительных конструкций [Текст] : Научное издание / А. Н. Добромислов. – М. : АСВ, 2007. – 184 с.
9. Колесниченко, В. Г. К вопросу расчета металлических конструкций на монтажные нагрузки и воздействия [Текст] / В. Г. Колесниченко, А. М. Югов // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. – Т. 2, № 4. – С. 195–202.
10. Моисеев, М. В. Начальные усилия и собираемость стальных структурных конструкций при случайных отклонениях длин стержней [Текст] : диссертация ... кандидата технических наук / Моисеев М. В. – Казань, 2004. – 164 с.
11. Смирнов, А. Ф. Строительная механика. Стержневые системы [Текст] / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, В. Я. Лашенков. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.
12. Югов, А. М. Исследование напряжённо-деформированного состояния элементов плоской рамы с учётом геометрических несовершенств [Текст] / А. М. Югов, А. Б. Бондарев // Металлические конструкции. – 2011. – Том 17, № 1. – С. 51–61.
13. Югов, А. М. Моделирование монтажа пространственных стержневых конструкций [Текст] / А. М. Югов, А. Б. Бондарев // Ресурсоекономі

## References

1. Abusamra Attalman, Yu. A. The influence of initial imperfection of constructions of two-layer netted bowls on their load-carrying ability: Ph.D. thesis in Engineering Science. Rostov-on-Don, 2006. 148 p. (in Russian)
2. Aroshenko, M.; Gordeev, V.; Lebedich, I. Secret of steel constructions. Kyiv: Steel, 2004. 304 p. (in Russian)
3. Belostotskij, A. M. Numerical simulation in forensic studies of breakdown and local action destruction of constructions of spans. In: *International journal for computational civil and structural engineering*, 2008, Vol. 4, Issue 2, p. 26–27. (in Russian)
4. Beliaev, N. M. Structural resistance. Moscow: Science, 1965. 856 p. (in Russian)
5. А. с. 47952 Ukraine. Computer program «Computing system "Dimensional analysis of frame structures"» («CS DAFS») / А. Б. Bondarev, А. М. Yugov (Ukraine). № 48382; preference, 20.12.2012; published, 20.02.2013, Ballot papers № 1. 2 p. (in Russian)
6. GOST 21779-82. System of ensuring of geometrical parameters accuracy in construction. Manufacturing and assembling tolerances. Moscow: Publisher standards, 1983. 14 p. (in Russian)
7. DBN V.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. (in Ukrainian)
8. Dobromyslov, A. N. Error of building construction design. Moscow: ASV, 2007. 184 p. (in Russian)
9. Kolesnichenko, V. G.; Yugov, A. M. On the calculation of metalwork for assembly loads and effects. In: *Modern industrial and civil construction*, 2006, Vol. 2, Number 4, p. 195–202. (in Russian)
10. Moiseev, M. V. Initial power and frame of steel structured constructions in the process of chance variations of grip length: Ph.D. thesis in Engineering Science. Kazan, 2004. 164 c. (in Russian)
11. Smirnov, A. F.; Aleksandrov, A. V.; Lashhenkov, V. Ya. Structural analysis. Framed structures. Moscow: Stroizdat, 1981. 512 p. (in Russian)
12. Yugov, Anatoly; Bondarev, Oleksiy. Stressed and strained state of flat frame members investigation with regard to geometric imperfections. In: *Metal Constructions*, 2011, Vol. 17, Number 1, p. 51–61. (in Russian)
13. Yugov, A. M. Bondarev, A. B. The modeling of mounting to spatial rod constructions. In: *Resource efficient materials, buildings and structures*, 2013, Issue 25, p. 629–634. (in Russian)
14. Yugov, Anatoliy; Bondarev, Alexey. Stress-strain state of metal single layer cylindrical covering shell of as a result of erection errors. In: *Metal Constructions*, 2013, Volume 19, Number 1, p. 27–36. (in Russian)
15. Yugov, A. M.; Bondarev, A. B. Numerical statistical inference of probable errors of construction of single

- матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2013. – Вип. 25. – С. 629–634.
14. Югов, А. М. Напряжённо-деформированное состояние однопоясной стержневой металлической оболочки покрытия цилиндрической формы при наличии погрешностей изготовления и монтажа [Текст] / А. М. Югов, А. Б. Бондарев // Металлические конструкции. – 2013. – Том 19, № 1. – С. 27–36.
  15. Югов, А. М. Численное статистическое исследование возможных погрешностей возведения однопоясной металлической оболочки покрытия цилиндрической формы [Текст] / А. М. Югов, А. Б. Бондарев // Сборник докладов научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения профессора Е. И. Белени «Расчёт и проектирование металлических конструкций». 25 марта 2013 года, г. Москва / под. ред. А. Р. Туснина. – Москва : МГСУ, 2013. – С. 247–251.
  16. Bruno, Robin J. Identification of nonlinear joints in a truss structure [Текст] / Robin J. Bruno // Proceedings of the American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) / American Society of Mechanical Engineers (ASME) Adaptive Structures Forum, Hilton Head, SC. – Washington : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1994. – P. 402–410.
- steel grid of covering of cylindrical form. In: *Book of reports of research and practice conference devoted to the 100<sup>th</sup> anniversary of Belenys birth «Analysis and designing of metal constructions»*. The 25<sup>th</sup> of March, 2013, Moscow / Edited by A. R. Tusnin. Moscow: MGSU, 2013, p. 247–251. (in Russian)
16. Bruno, Robin J. Identification of nonlinear joints in a truss structure. In: *Proceedings of the American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) / American Society of Mechanical Engineers (ASME) Adaptive Structures Forum, Hilton Head, SC*. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1994, p. 402–410.

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж, експлуатація, технічна діагностика, оцінка технічного стану, реконструкція, посилення та демонтаж будівельних металевих конструкцій, технологія і організація робіт при будівництві і реконструкції будівель і споруд.

**Бондарев Олексій Борисович** – аспірант кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування, монтаж металевих та комбінованих конструкцій.

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция, усиление и демонтаж строительных металлических конструкций, технология и организация работ при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

**Бондарев Алексей Борисович** – аспирант кафедры технологии и организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация металлических и комбинированных конструкций.

**Yugov Anatoliy** – D.Sc in Engineering, professor, Head of Construction Engineering and Management Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, assembling, exploitation, technical diagnostics, estimation of technical state, reconstruction, reinforcement and dismantled of building metal constructions, technology and organization of works, white construction and reconstruction of buildings and structures.

**Bondarev Alexey** – aspirant, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Construction Engineering and Management Department. Scientific interests: designing, erection of steel and complex construction.