

УДК 624.072.33

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МОНТАЖА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**МОДЕЛЮВАННЯ МОНТАЖУ ПРОСТОРОВИХ СТЕРЖНЬОВИХ
КОНСТРУКЦІЙ**

THE MODELING OF MOUNTING TO SPATIAL ROD CONSTRUCTIONS

Югов А. М., д.т.н., проф., Бондарев А. Б., аспирант (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка)

Югов А. М., д.т.н., проф., Бондарев О. Б., аспирант (Донбаська національна академія будівництва і архітектури м. Макіївка)

Yugov A. M., doctor of technical science, professor, Bondarev A. B., postgraduate (Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka)

В статье приведен анализ существующих методов учёта дефектов изготовления и монтажа Рассмотрены некоторые вопросы определения дефектов изготовления и монтажа пространственных конструкций на основе их численного моделирования. Предложен численный метод графоаналитического определения погрешностей сборки стержневых систем. Показан процесс построения стержневой системы действительной формы с использованием предложенного метода. Предлагается разработать вычислительный комплекс для численного моделирования монтажа пространственных стержневых конструкций с учётом сборочных погрешностей. Предлагается отработать предложенный метод определения погрешностей на примере крупных объектов Украины

У статті наведено аналіз існуючих методів врахування дефектів виготовлення і монтажу Розглянуто деякі питання визначення дефектів виготовлення і монтажу просторових конструкцій на основі їх чисельного моделювання. Запропоновано чисельний метод графоаналітичного визначення похибок збирання стержньових систем. Показано процес побудови стержньової системи дійсної форми із використанням запропонованого методу. Пропонується розробити обчислювальний комплекс для чисельного моделювання монтажу просторових стержньових конструкцій із урахуванням похибок

збирання. Пропонується відпрацювати запропонований метод визначення похибок на прикладі великих об'єктів України

The paper presents an analysis of existing methods of accounting and mounting workmanship. Some aspects of the definition of manufacturing defects and mounting of rod constructions on the basis of numerical simulations. A numerical method for the determination of errors graphoanalytical assembly rod systems. The process of constructing the core of the actual shape using the proposed method. It is proposed to develop a computer system for the numerical simulation of three-dimensional bar mounting structures for assembly errors. It is proposed to work out the proposed method of determining the errors on the example of large objects in Ukraine

Ключові слова:

пространственные конструкции, проектирование, изготовление, монтаж
просторові конструкції, проектування, виготовлення, монтаж
spatial design, engineering, manufacturing, mounting

Введение. При возведении стальных каркасов зданий и сооружений, состоящих из большого количества элементов, неизбежно вносятся погрешности, отражающиеся на изменении расстояний между смежными узлами элементов – в сравнении с их номинальными значениями. Такие погрешности называются сборочными. Сборочные погрешности, как правило, связаны с отклонением при неточном изготовлении и монтаже элементов. В статически неопределимых стержневых конструкциях сборочные погрешности изменяют её номинальную форму, влияют на собираемость и вызывают сборочные усилия.

С одной стороны изготовление конструкций низкой точности вызывает в дальнейшем выполнение большого количества дополнительных подгоночных работ и приводит к снижению несущей способности сооружения. С другой стороны повышение точности сопровождается увеличением трудоёмкости и стоимости изготовления конструкции. Своевременная оценка погрешностей сборки позволит избежать выполнения дополнительных подгоночных операции при монтаже и повысить надёжность сооружений.

Анализ последних исследований. Величины отклонений узлов характеризуют уровень точности возведения сооружения, а точнее уровень собираемости [1] от которого зависит его стоимость и надёжность. Для правильного назначения допускаемых отклонений необходимо выполнить расчёт собираемости и оценить напряжённо-деформированное состояние, в результате чего предложить меры, по ограничению сборочных усилий или допускаемых отклонений. В настоящее время используются два подхода к

оценке сборочных погрешностей конструкций, состоящих из большого количества элементов:

- на основе выявления размерных связей в конструктивно-технологической схеме конструкции, составления размерных цепей и решения уравнений точности – расчёт точности [1];

- на основе статического расчёта стержневой системы методом Мора, позволяющим определить перемещения узлов по заданным деформациям стержней [2].

Однако использование этих подходов для оценки погрешностей сборки, к примеру, несущих сетчатых оболочек покрытий и других пространственных стержневых конструкций сопряжено с существенными недостатками:

- вследствие многосвязности системы не удаётся составить адекватные технологической схеме сборки размерные цепи, поэтому результаты такой оценки будут некорректными;

- метод Мора, с одной стороны, не отражает реальной картины погрешностей, так как базируется на неразрывности деформаций в узлах, и с другой стороны, не учитывает способ и последовательность сборки конструкций, что тоже приводит к неверному результату;

- оба способа не учитывают возможность корректировки пространственного положения элементов во время монтажа.

Цель исследования. Предложить метод определения дефектов изготовления и монтажа пространственных конструкций на основе численного моделирования процесса монтажа сооружения с учётом погрешностей.

Методика исследований. Численное моделирование монтажа действительной геометрической формы сооружения производится посредством её геометрического построения. Для построения используются расчётные линейные геометрические параметры монтажных элементов, которые выбираются в соответствии с их конструктивно-технологическими особенностями и полностью описывают заданную в проекте форму сооружения или его отдельной части. При этом следует стремиться к выбору минимально необходимого количества расчётных геометрических параметров и, следовательно, максимально упрощать задачу построения, т.е. монтажа.

Численное моделирование монтажа сооружений с учётом точности отдельных конструкций, по своей сути является способом определения действительной формы сооружения, т.е. вычисления её действительных координат. В отличие от обычного геометрического расчёта этот способ основан на таком геометрическом построении формы сооружения, которое имитирует процесс её реального монтажа. Учитывая вероятностный характер поставленной задачи, математическое моделирование осуществляется методом статистических испытаний, т.е. методом Монте-Карло [3].

Форма любой геометрической фигуры характеризуется положением её определённых точек в пространстве или на плоскости. Так как монтажные элементы всегда имеют вид отрезка, а блоки строительных конструкций всегда имеют вид плоских многоугольников или объёмных многогранников, то их форма определяется положением вершин, которые, как правило, в металлических конструкциях являются также узлами сопряжения стержневых элементов. Например, для описания формы четырёхугольного монтажного блока в виде плоской стержневой системы с параллельными поясами, показанной на рис. 1 достаточно знать номинальные величины длин её стержней и координаты узлов.

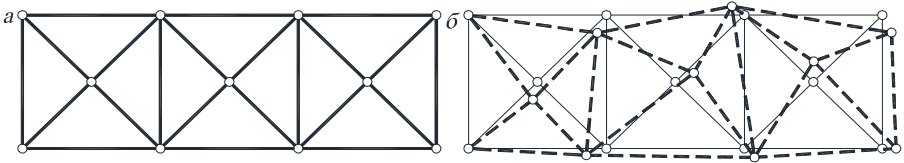


Рис. 1. Геометрическая форма плоской стержневой системы: а – номинальная, б – одна из возможных действительных форм – показана пунктирной линией

Длины отрезков в расчётной схеме стержневой системы являются расчётным параметром при построении математической модели формы монтажных элементов, т.е. при вычислении координат их узлов. Отклонения действительных величин – длин расчётных параметров от номинальных значений, приводящие к искажению формы блока, определяются по формуле:

$$l_i^* = l_i + \delta l_{mi} + \delta l_{\sigma i}, \quad (1)$$

где l_i^* – действительное значение расчётного геометрического параметра; l_i – номинальное значение расчётного геометрического параметра; $\delta l_{m,i}$ – систематическая составляющая отклонения от номинального значения; $\delta l_{\sigma,i}$ – случайная составляющая отклонения от номинального значения.

Случайное отклонение $\delta l_{\sigma,i}$ по своей природе является результатом совокупности многочисленных элементарных погрешностей, допускаемых на первичных операциях по изготовлению, обработке и сборке составляющих монтажный элемент. Следовательно, оно подчиняется нормальному закону и может быть вычислено по формуле:

$$\delta l_{\sigma,i} = \sigma_{l_i} \zeta, \quad (2)$$

Монтажный элемент представляет собой вполне законченное (с точки зрения точности) изделие и практически все возможные погрешности его геометрических параметров охватываются системой допусков. Поэтому среднеквадратическое отклонение расчётного параметра σ_{l_i} , являющееся исходной величиной для вычисления случайного отклонения $\delta l_{\sigma,i}$ по формуле (2), может быть определено по формуле:

$$\sigma_{l_i} = \Delta l_i / 2t, \quad (3)$$

где $\sigma_{\ell,i}$ – среднеквадратическое (стандарт) отклонение i -ого расчётного параметра; $\Delta\ell_i/2$ – допускаемое отклонение i -ого расчётного параметра; t – число стандартов, учитывающих при назначении допускаемого отклонения. В общем случае значение числа t зависит от особенностей конкретного технологического процесса изготовления монтажных элементов, но для строительных конструкций обычно принимают $t = 3$ [4].

Повторяя процесс сборки для элементов $j = 1, 2, 3$ блока из действительных расчётных геометрических параметров $\ell_{j,i}^*$, создадим две численных модели ячейки с различными искажениями геометрической формы, показанных на рис. 2. Устанавливая – соединяя стержни ячейки, друг с другом, например в последовательности, показанной на рис. 2, допустим 3 раза (цикла) получим стержневую систему с отклонениями узлов от номинального положения и искажениями общей геометрической формы рис. 1б.

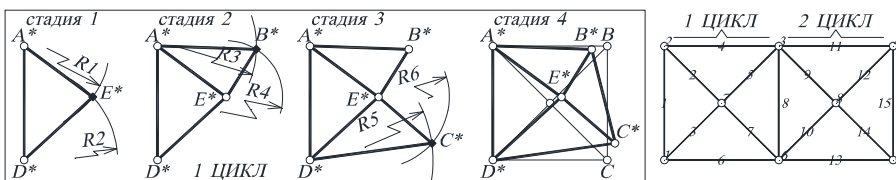


Рис. 2. Порядок сборки конструкции

Следует заметить, что среднеквадратическое отклонение σ_i стержневой системы можно вычислить не только по нормируемому отклонению $\Delta\ell_i/2$, но и как суммарное отклонение замыкающего звена размерной цепи, составленной для расчёта точности i -ого параметра стержневой системы [4, 5]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^i (c_{j,i} \sigma_{j,i})^2, \quad (4)$$

где σ_{ij} – среднее квадратичное значение составляющего звена цепи; c_{ij} – коэффициент, характеризующий зависимость замыкающего звена $\sigma_{\Sigma i}$ от составляющего $\sigma_{j,i}$.

При этом в качестве первого составного звена размерной цепи должно быть принято действительное значение геометрического параметра второго стержня в стержневой системе – если считать, что первое звено, т.е. стержень, установлено в точном соответствии с проектом. В целом задача численного определения возможных погрешностей возведения пространственного сооружения на основе геометрического моделирования его монтажа с учётом точности отдельных элементов решается в несколько этапов:

- разбиение сооружения на монтажные блоки в соответствии с конструктивно-технологической схемой монтажа;
- вычисление проектных координат узлов сооружения, являющихся контактными при сопряжении монтажных блоков;

- моделирование сборки блоков с учётом случайных отклонений их геометрических параметров от номинальных значений;
- моделирование монтажа (установки) блоков действительной геометрической формы в сооружении согласно принятой технологической схеме;
- анализ отклонений узлов действительной геометрической формы сооружения от номинального положения или по отношению друг к другу.

Результаты исследований. Для обеспечения возможности моделирования процесса возведения пространственных конструкций (большепролётных покрытий, дымовых труб, опор линий электропередачи), как из отдельных стержней, так и блоками с учётом случайного искажения их геометрической формы и принятой схемы монтажа, а также последующего анализа характера отклонений узлов сооружения от проектного положения разработан метод графоаналитического определения погрешностей. Показан процесс построения стержневой системы действительной формы с использованием предложенного метода.

Выводы: Численное моделирование процесса монтажа пространственных конструкций позволяет исследовать зависимость между уровнем точности изготовления отдельных элементов и величинами возможных отклонений узлов для пространственных сооружений любой степени сложности.

1. ГОСТ 21780-2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности. – М.: МГС. – 13 с. 2. Смирнов А. Ф., Александров А. В., Лашенков В. Я. Строительная механика. Стержневые системы. – М.: Стройиздат. – 1981. – 512 с. 3. Ермаков С. М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. – М.: Наука. – 1971. – 344 с. 4. ГОСТ 21779-82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. – М.: Издательство стандартов. – 1983. – 14 с. 5. ГОСТ 21780-2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности. – М.: МГС. – 13 с.