

УДК 624.072.33

А. Б. БОНДАРЕВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОЦЕНКА МОНТАЖНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ОДНОПОЯСНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ ПОКРЫТИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

В статье выполнен краткий обзор и анализ способов учёта сборочных погрешностей на напряжённо-деформированное состояние большепролётных стержневых металлических покрытий. Существующие нормы проектирования, в том числе и зарубежные, по расчёту стальных конструкций не имеют достаточной и полной информации о процедуре оценки поведения пространственных большепролётных стержневых металлических покрытий при монтажных состояниях. Выполнено численное исследование напряжённо-деформированного состояния однопоясной стержневой металлической оболочки покрытия цилиндрической формы с учётом монтажных воздействий – сборочных усилий. Полученные значения напряжений в элементах оболочки свидетельствуют о необходимости разработки конструктивных мероприятий, которые снизят влияние сборочных усилий, т. е. монтажных воздействий на несущую способность и живучесть оболочки. Методика определения монтажных воздействий, возникающих в оболочке покрытия цилиндрической формы, приведенная в статье, может использоваться при реальном проектировании стержневых металлических оболочек цилиндрической, сферической, эллиптической, конической, тороидальной и других форм.

большепролётные пространственные покрытия, монтажное состояние, сборочные усилия, математическое моделирование сборки, сборочные погрешности, теория управления

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

При возведении каркасов металлических большепролётных покрытий, состоящих из большого количества отработанных марок, неизбежен процесс последовательного накопления погрешностей, возникающих при их изготовлении, укрупнительной сборке и монтаже. Точность проектирования, изготовления и возведения конструкций большепролётных покрытий влияет на их надёжность в целом и на живучесть в частности. Расчёт точности, как правило, производится путём выявления размерных связей в конструктивно-технологических схемах зданий и сооружений, составления размерных цепей и решения уравнений точности [4]. Другой способ основан на статическом расчёте стержневых систем методами строительной механики, которые используют известную формулу Мора, устанавливающую зависимость перемещений системы от деформаций её стержней [7].

Среди зарубежных исследований нужно отметить их общую тенденцию, направленную на активное управление поведением систем как в процессе их возведения, так и при функционировании – эксплуатации. Типичные примеры и результаты активного регулирования (читать управления) даёт авиационная и космическая промышленность. Некоторые значимые результаты изложены в трудах учёных Американского института аэронавтики и астронавтики (Proceedings of the American Institute of Aeronautics and Astronautics [AIAA]) в работе R. J. Bruno [9], а также Н. М. Kim [10], J. E. Pearson [11], М. Sanayei, О. Onipede [12] и многих других. Примером достаточно поучительных работ, посвящённых регулированию поведения конструкции, нужно отметить работы наших учёных В. И. Буя-каса [2] и А. С. Гвамичавы [3], посвящённых гелиоустановкам, радиотелескопам.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

На основании проведенного анализа сделан вывод, что: статический расчёт по методу Мора не учитывает способ возведения сооружения и последовательность монтажа его элементов; для

исследования возможных погрешностей большепролётных стержневых металлических покрытий использование метода размерных цепей затруднено, а зачастую невозможно, в связи с конструктивной многосвязностью их каркасов; оба способа не учитывают возможность корректировки пространственного положения элементов во время монтажа.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка влияния монтажных воздействий на напряжённо-деформированное состояние каркаса стержневой металлической оболочки покрытия при различных способах монтажа.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Однопоясная стержневая металлическая оболочка покрытия цилиндрической формы, показанная на рис. 1. Исследуемая однопоясная цилиндрическая стержневая металлическая оболочка радиусом R . Допускаемое отклонение линейных размеров элементов равно ± 5 мм, соответствующее допуску размеров на монтаж [6], и $\pm 0,8$ мм – соответствует допуску размеров на изготовление элементов по первому классу точности согласно [4].

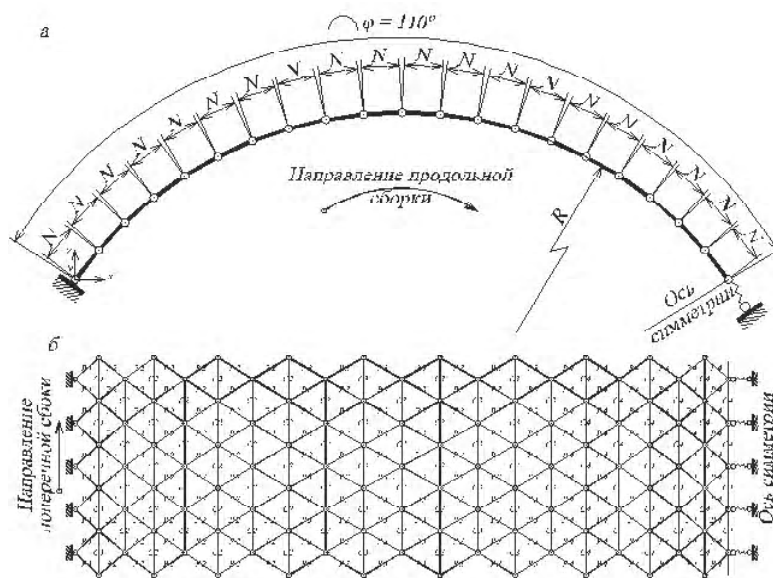


Рисунок 1 – Расчётная схема исследуемой оболочки с маркировкой элементов: а – вид сбоку; б – вид сверху с маркировкой элементов.

$R = 10$ м образована из последовательно соединённых в поперечном направлении $N = 20$ штук монтажных элементов, угол раскрытия образующей $\varphi = 110^\circ$. Длина отдельного стержня оболочки составляет 1 108 мм. Сеть оболочки в плане образована равносторонними треугольниками. Материал оболочки – сталь С 255, сечение элементов – гнуто-сваренный профиль.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

При возведении металлических каркасов большепролётных оболочек покрытия цилиндрической формы накапливаются погрешности геометрической формы отдельных монтажных элементов. Это накопление приводит к отклонению действительного пространственного положения элементов и узлов от проектного – т. е. начальному несовершенству (искажению) действительной геометрической формы каркаса оболочки по сравнению с номинальной. Численное моделирование процесса монтажа исследуемой оболочки выполнено графоаналитическим методом, реализованным в авторской компьютерной программе – Вычислительный Комплекс Размерного Анализа Стержневых Конструкций (ВК РАСК) [1].

Определение и оценка погрешностей оболочки вследствие неточностей отдельных элементов в ВК РАСК выполнена по пространственному отклонению для узлов и линейному для замыкающих стержней от номинальной поверхности. Сборка однослойной стержневой цилиндрической оболочки выполняется, как правило, поэлементно на подмостях в продольном или поперечном направлении, потому рассмотрим в работе две последовательности сборки оболочки – продольная и поперечная.

Для анализа напряжённого состояния оболочки с учётом монтажных воздействий применён вычислительный комплекс (БК) SCAD. При сборке пространственной оболочки покрытия в ней есть замыкающие стержни. Замыкающие стержни – стержни, вызывающие при сборке системы появление сборочных усилий [8]. Полученные из расчёта по БК РАСК теоретические отклонения длин элементов однослойной оболочки, которые могут теоретически возникнуть от неточности её изготовления и монтажа, смоделированы в БК SCAD температурным воздействием. Чтобы определить теоретическое напряженно-деформированное состояние однослойной цилиндрической оболочки с дефектами изготовления и монтажа, необходимо определить величину соответствующего температурного воздействия. Температурные воздействия на замыкающие стержни в совокупности образуют дополнительную схему загрузки оболочки покрытия, которое, по-видимому, необходимо включить в основное расчётное сочетание нагрузок и назвать его – **загружение монтажной нагрузкой**. Исходными данными монтажного нагружения оболочки служат величины сборочных погрешностей. Рассмотрим сборочные усилия в оболочке более подробно. Общее количество элементов составляет 291 (рис. 2). Несущая способность элементов оболочки значительно больше, чем усилия, возникающие от расчётного сочетания усилий. Сечение элементов должно быть принято изначально по гибкости $\lambda = 120$, а затем уточняться на основании статического расчёта согласно [6].

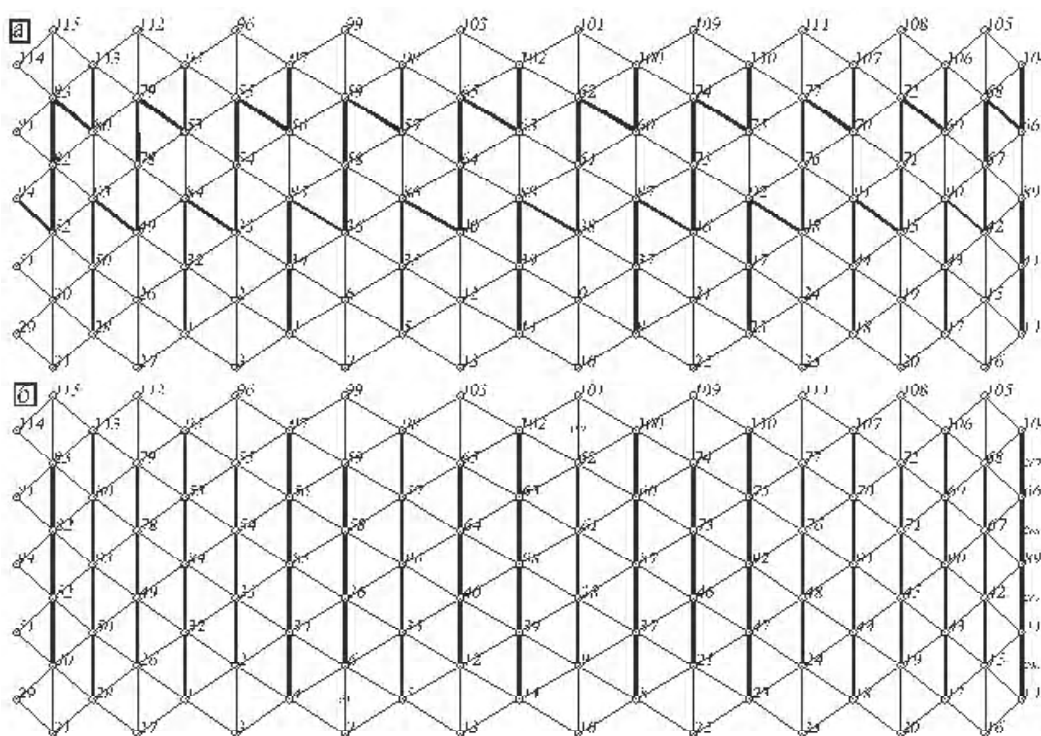


Рисунок 2 – Схема нагружения оболочки монтажными воздействиями: а – при продольной схеме сборки; б – при поперечной схеме сборки.

По результатам оценки сборочных усилий на несущую способность оболочки приведены гистограммы, показывающие соотношения между усилиями от основного сочетания нагрузок и погрешностей изготовления и монтажа. Результаты расчёта для оболочки представлены на гистограммах рис. 3...5. Поясним обозначения, принятые на гистограммах: 1 – усилие в элементе от основного сочетания нагрузок ($N_{эл.}$); 2 – усилие в элементе от погрешности изготовления по 1 классу точности в соответствии с [4] при продольной сборке (N_1); 3 – усилие в элементе от погрешности изготовления по 1 классу точности в соответствии с [4] при поперечной сборке (N_2); 4 – усилие в элементе от погрешности монтажа в соответствии с [6] при продольной сборке (N_3); 5 – усилие в элементе от погрешности монтажа в соответствии с [6] при поперечной сборке (N_4). На гистограммах приведены усилия от основного сочетания нагрузок ($N_{эл.}$), и суммарные ($N_1...N_4$). Под значением суммарного усилия приведена величина перегрузки сечения в долях от единицы. Несущая способность элемента показана на гистограмме как N_{max} .

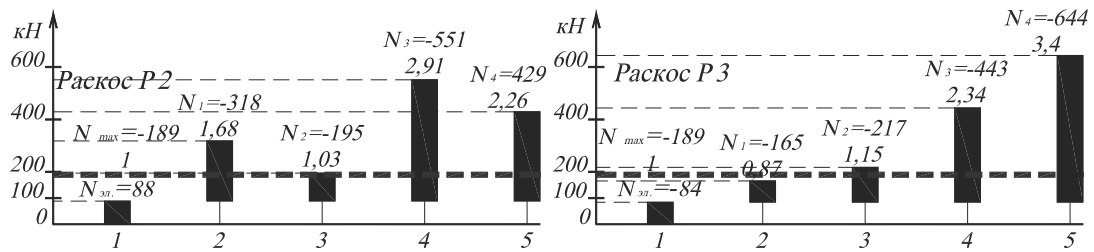


Рисунок 3 – Величина усилий в элементах P2, P3.

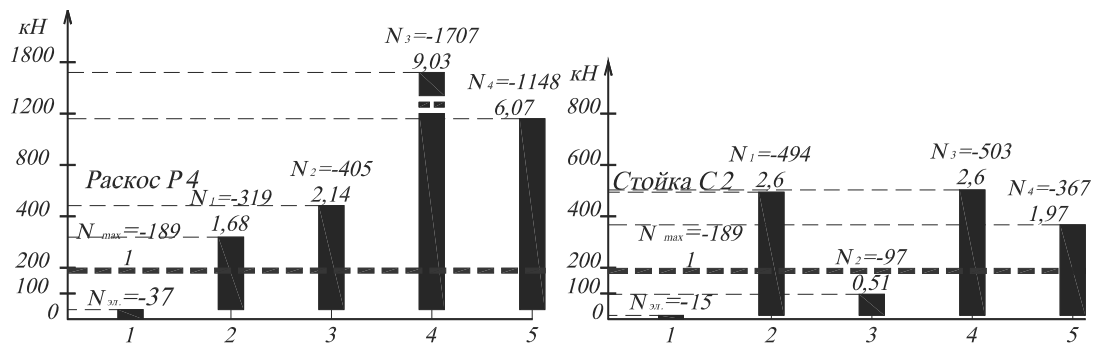


Рисунок 4 – Величина усилий в элементах P4, C2.

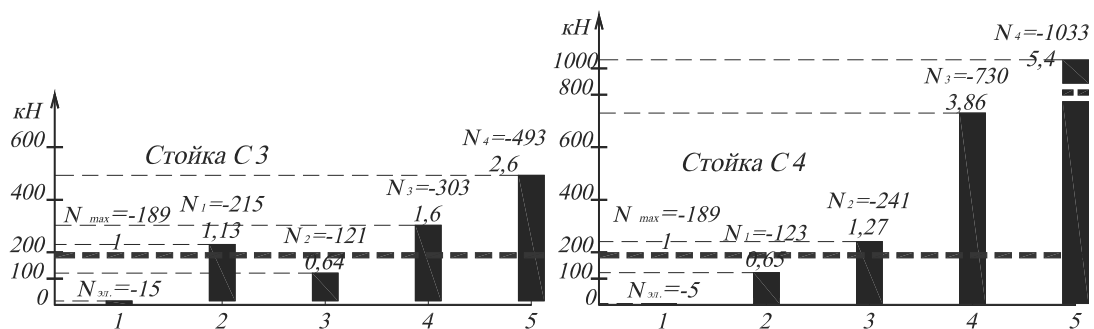


Рисунок 5 – Величины усилий в элементах C3, C4.

На гистограммах показано 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 P2 величина перегрузки сечения от действия сборочного усилия $N_1 = 1,68$ или 68 %, (рис. 3).

Для элементов P2, например, максимальное усилие от расчётной нагрузки составляет $N_{эл.} = -88$ кН. Максимальная величина дополнительного усилия от погрешностей изготовления при продольной сборке составляет $N_{пдс-п.} = -287$ кН. Величина суммарного усилия в элементе от погрешностей изготовления при продольной сборке составляет $N_1 = N_{эл.} + N_{пдс-п.} \times k_c = -88 + (-287 \times 0,8) \approx -318$ кН, где $N_{пдс-п.}$ – усилие в элементе от погрешностей изготовления при продольной сборке; k_c – коэффициент сочетаний согласно п. 4.18 [5]. Аналогично определены значения усилий для всех элементов оболочек, возникающих в них от погрешностей изготовления и монтажа. Для остальных оболочек в гистограммах будут аналогичные обозначения. Величины усилий выражены в кН.

В исследуемой однопоясной стержневой металлической оболочке покрытия зафиксировано истощение несущей способности раскосов P4 и стоек C4. Такой результат может быть обоснован тем, что увеличение количества элементов в направлении сборки приводит к накоплению погрешностей. Накопленные величины погрешностей приводят к увеличению сборочных усилий, а сборочные усилия – к снижению несущей способности как отдельных элементов, так и оболочки в целом. В связи с этим происходит снижение живучести исследуемой оболочки покрытия.

По результатам, полученным в данном исследовании, можно сделать такие **выводы**:

1. Выполненные исследования показывают, что монтажные воздействия, возникающие при сборке оболочки, могут существенно повлиять на напряжённое состояние её элементов.
2. Своевременный учёт влияния монтажных воздействий позволяет не только повысить несущую способность конструкций стержневой оболочки покрытия, но и предусмотреть необходимые конструктивные мероприятия для снижения этого влияния и обеспечения собираемости её каркаса.
3. Наличие монтажных воздействий – сборочных усилий – приводит к снижению живучести покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Буякас, В. И. Статически определимые регулируемые структуры и их приложения в технических задачах космической астрономии [Текст] : дис. ... доктора технических наук / В. И. Буякас. – М., 2004. – 190 с.
3. Гвамичава, А. С. Разработка и внедрение конструктивных форм и методов расчета крупногабаритных космических антенных сооружений [Текст] : автореферат дис. на соискание ученой степени доктора технических наук / А. С. Гвамичава. – М. : ЦНИИпроектстальконструкция им. Н. П. Мельникова, 1984. – 57 с.
4. ГОСТ 21779-82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски [Текст]. – Взамен ГОСТ 21779-76 ; введ. 1983-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 14 с.
5. 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.
6. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – На заміну СНиП II-23-81* окрім розділів 15*–19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3–8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78 – 4.134 ; чинні від 2011-12-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
7. Смирнов, А. Ф. Строительная механика. Стержневые системы [Текст] / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, В. Я. Лашеников, Н. Н. Шапошников. – М. : Стройиздат, 1981. – 512 с.
8. Югов, А. М. Численное статистическое исследование возможных погрешностей возведения однопопной 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. Тусни-на. – Москва : МГСУ, 2013. – С. 247–251.
9. 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.
10. Kim, H. M. On-orbit modal identification of large space structures [Текст] / H. M. Kim, H. N. Doiron // Sound and Vibration. – 1992. – Vol. 26, № 6. – P. 24–30.
11. Pearson, J. E. Experimental Studies of a Deformable-Mirror Adaptive Optical System [Текст] / J. E. Pearson, S. Hansen // Journal of Optical Society America. – 1977. – № 67. – P. 360–369.
12. Sanayei, M. Damage assessment of structures using static test data [Текст] / M. Sanayei, O. Onipede // AIAA Journal. – 1991. – Vol. 29, № 7. – P. 1174–1179.

Получено 28.10.2013

О. Б. БОНДАРЕВ

ОЦІНКА МОНТАЖНИХ ВПЛИВІВ У ОДНОПОЯСНІЙ СТЕРЖНЬОВІЙ МЕТАЛЕВІЙ ОБОЛОНЦІ ПОКРИТТЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті виконано короткий огляд та аналіз способів урахування похибок на напружено-деформований стан великопрольотних стержневих металевих покриттів. Існуючі норми проектування, у тому числі і зарубіжні, із розрахунку сталевих конструкцій не мають достатньої та повної інформації щодо процедури оцінки поведінки просторових великопрольотних стержневих металевих покриттів при монтажних станах. Виконано чисельне дослідження напружено-деформованого стану однопопної стержневої металеві оболонки покриття циліндричної форми із урахуванням монтажних впливів – зусиль збирання. Отримані значення напружень у елементах оболонки свідчать про необхідність

розробки конструктивних заходів, які знижатимуть вплив зусиль збирання, тобто монтажних впливів на несучу здатність та живучість оболонки. Методика визначення монтажних впливів, що виникають у оболонці покриття циліндричної форми, наведена у статті, може бути використана при реальному проектуванні стержневих металевих оболонок циліндричної, сферичної, еліптичної, конічної, тороїдальної та інших форм.

великопрольотні просторові покриття, монтажний стан, зусилля збирання, математичне моделювання збірки, збірні похибки, теорія управління

ALEXEY BONDAREV

MECHANICAL IMPACT ASSESSMENT IN ODNOPOYASNOY ROD METAL SHELL COVER CYLINDRICAL SHAPE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This article gives an overview and analysis of the accounting methods of assembly errors on the stress-strain state of the large-core metal coatings. Existing design standards including the calculation and foreign steel structures do not have sufficient and complete information on the procedure for assessing the behavior of spatial span rod of metal coatings for assembly states. A numerical study of the stress- strain state single layer core metal shell covering a cylindrical shape with the installation of impacts – the assembly effort has been carried out. The resulting values of the stresses in the elements of the shell indicate the need for structural measures that will reduce the impact of assembly effort, ie mounting impact on the bearing capacity of the shell. Methods of determining the mounting impacts arising in the shell coating of cylindrical shape given in the article may be used in the actual design of a cylindrical rod of metal shells, spherical, elliptical, conical, toroidal, and other forms.

span spatial covers, mounting state, assembly forcing, mathematical modeling of the assembly, assembly faults, control theory

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

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

Bondarev Alexey – post-graduate student, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: designing, erection of steel and combinations construction.