



УДК 69.057.2

О. Б. КОНДРАШКИН, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой технологии строительства; **Е. А. КРИВОШАПКИНА**, студент; **И. Н. ХРЯПЧЕНКОВА**, канд. техн. наук, проф. кафедры технологии строительства

ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕШЕТЧАТЫХ АРОК РЕБРИСТО-КОЛЬЦЕВОГО КУПОЛА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 430-17-74; эл. почта: tsp@nngasu.ru

Ключевые слова: большепролетные конструкции, технология, монтаж.

Исследование сосредоточено на анализе технологических процессов укрупнительной сборки и монтажа ребристо-кольцевого купола, а также на анализе влияния различных факторов на эффективность и безопасность выполнения монтажных работ.

Введение

Современные тенденции в строительстве характеризуются возрастающей потребностью в создании крупных общественных и производственных помещений с широкими внутренними пространствами, свободными от промежуточных опор [1]. Несмотря на значительный прогресс в области возведения большепролетных конструкций, вопросы оптимизации технологических процессов монтажа и повышения эффективности конструктивных решений остаются актуальными и исследуются отечественными и зарубежными учеными [2–9]. Существующие методики проектирования и возведения часто не учитывают специфические особенности конкретных объектов, что приводит к увеличению сроков строительства, неоправданным затратам и риску возникновения дефектов. Данная работа посвящена исследованию методов монтажа большепролетных покрытий на примере ребристо-кольцевого купола диаметром 96 метров, возведенного на территории музейного комплекса военной техники города Белгорода.

Цель и задачи исследования

Целью настоящего исследования является разработка рекомендаций по оптимизации методов монтажа покрытий на примере ребристо-кольцевого купола диаметром 96 метров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести детальный анализ существующих методов монтажа большепролетных покрытий.
2. Изучить конструктивные особенности ребристо-кольцевого купола, возведенного в музее военной техники города Белгорода.
3. Выявить оптимальные решения для обеспечения прочности, устойчивости и долговечности конструкции купола.

4. Разработать рекомендации по совершенствованию технологических процессов монтажа большепролетных покрытий.

В статье рассмотрена технология возведения большепролетного ребристо-кольцевого купола музея военной техники в г. Белгороде. Ребро купола состоит из пространственных ферм арочной формы радиусом 48 м. При производстве работ отправочные марки в виде пространственных ферм собирают на строительной площадке в укрупненные монтажные блоки. Максимальный вес укрупненного блока составляет 8,01 т. Требуется установить 22 ребра по окружности купола с угловым шагом в $8,18^\circ$. Схема расположения ребер купола представлена на рис. 1.

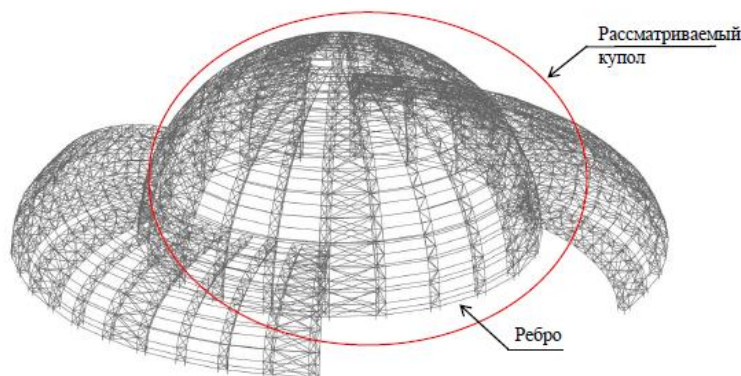


Рис. 1. Схема расположения ребер купола

Принятые технологические решения проекта

Согласно расчетам для монтажа принят кран *Liebherr LTM 1230–5*, для укрупнительной сборки – РДК-250.

Для обеспечения безопасной установки конструкций требуется правильный подбор траверсы. По разрывному усилию с коэффициентом запаса прочности $k_3 = 5$ выполнен подбор стальных канатов типа ЛК-Р 6×19 (1+6+6/6)+1 о.с. для канатных подвесок, соединяющих стержень траверсы с крюком грузоподъемного механизма.

По сжимающему усилию в траверсе из расчета на устойчивость определено сечение стальной трубы 108×5 по ГОСТ 10704-91. Подобрана траверса *GPST 15* т., удовлетворяющая условиям монтажа.

Особенности технологии монтажа большепролетных конструкций

Анализ существующих методов монтажа большепролетных конструкций показывает, что наиболее рациональными являются технологии сборки укрупненных блоков на стендах (рис. 2). Выверку стенда производят с помощью уровня. Отправочные марки фермы подают краном РДК-250 и раскладывают на стенде укрупнительной сборки монтажных блоков. В состав стенда входят плиты, которые требуются для выравнивания поверхности в месте укрупнительной сборки монтажных блоков. Ключевую роль в обеспечении геометрической точности играют упоры-кондукторы, фиксирующие элементы конструкции в заданном положении. Стенды для укрупнительной сборки оборудуют сменными фиксаторами. С помощью клиньев добиваются выравнивания требуемого уровня отправочной марки на упоре-кондукторе. Дополнительную поддержку и стабилизацию обеспечивает временная опора, принимающая на себя часть нагрузки и предотвращающая деформации.



Для точной юстировки и соединения элементов используются гидравлические домкраты. Применение гидравлических домкратов позволяет плавно и контролируемо перемещать элементы конструкции, добиваясь идеального совмещения.

Затем собранный укрупненный монтажный блок монтируют краном *Liebherr LTM 1230–5.1*.

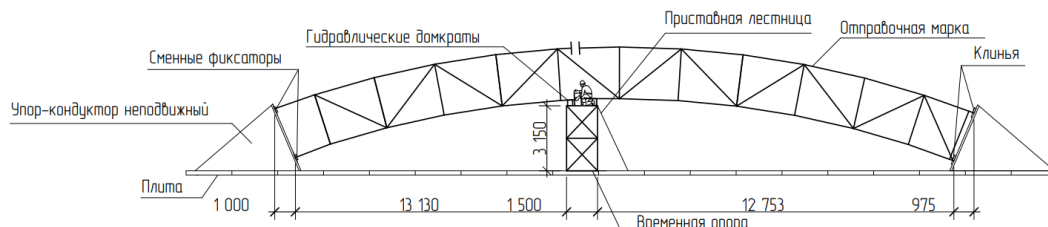


Рис. 2. Стенд укрупнительной сборки

Такой подход позволит значительно сократить сроки монтажа, повысить безопасность работ и обеспечить более точное выполнение проектных требований. Однако при этом возникает необходимость в тщательном расчетном обосновании методов транспортировки, подъема и фиксации укрупненных элементов, а также в разработке специальных технологических решений для минимизации деформаций и напряжений в конструкциях в процессе монтажа.

Для ускорения темпов монтажа ребристого купола потребуется скоординированная работа двух комплектов кранов. В каждом комплекте кран меньшей грузоподъемности сосредоточен на предварительной сборке укрупненных блоков из отправочных марок, оптимизируя логистику и сокращая время монтажа на высоте. Его задача – формирование крупных, готовых к установке секций, что позволяет минимизировать количество операций непосредственно на высоте. Кран большой грузоподъемности будет сосредоточен на непосредственном монтаже укрупненных блоков ребра с использованием метода «на себя» (рис. 3).

Укрупненные сборные элементы будут установлены на временные опорные башни с использованием кранов, что обусловлено значительным пролетом конструкции купола и необходимостью обеспечения стабильности и точности монтажа. Метод монтажа «полунавесной способ» характеризуется тем, что в процессе монтажа конструкция удерживается временными оттяжками или устанавливается на промежуточные опоры. Этим способом монтируют купола, некоторые конструкции арок, конструкции пролетных строений мостов.

В рассматриваемом примере было предусмотрено три временные опоры. Для установки купольного элемента предварительно установлена центральная временная опора, оснащенная системой гидравлических домкратов, обеспечивающих поддержку верхней кольцевой части купола. Дополнительно проект предусматривает установку вспомогательных временных опорных башен, соответствующих высоте устанавливаемых строительных блоков.

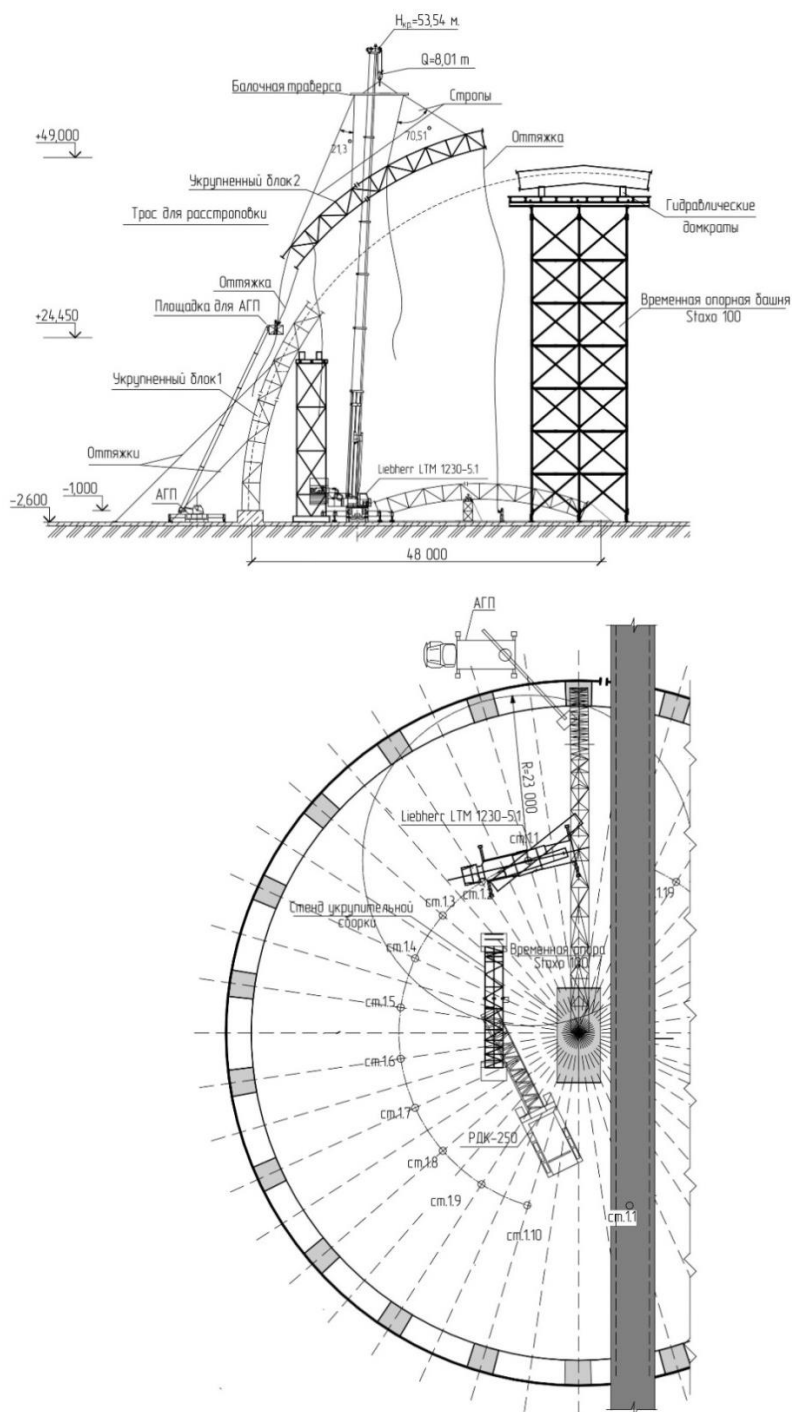


Рис. 3. Схема монтажа ребер купола

Закключение. Анализ существующих методов монтажа показал эффективность сборки укрупненных блоков на стендах с последующим подъемом, что сокращает сроки строительства и повышает безопасность монтажных работ. Выбор кранового оборудования и расчет траверс являются важными этапами, обеспечивающими безопасный и точный монтаж.

Особое внимание уделено полунавесному способу монтажа с использованием временных опор, что обеспечивает стабильность и геометрическую точность



конструкции. Применение гидравлических домкратов позволяет плавно и контролируемо перемещать элементы, добиваясь идеального совмещения.

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации монтажа аналогичных большепролетных конструкций, что позволит повысить эффективность строительства, снизить затраты и обеспечить долговечность возводимых объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 49.13330.2010. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования : свод правил : приняты и введены в действие Постановлением Госстроя Российской Федерации от 23 июля 2001 г. N 80 : зарегистрирован в Минюсте Российской Федерации 9 августа 2001 г. N 2862 : дата введения 2001-09-01. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.09.2025). – Текст : электронный.
2. Казаков, Ю. Н. Совершенствование технологии строительства большепролетных зданий / Ю. Н. Казаков // Строительное производство. – 2023. – № 2. – С. 66–70.
3. Lebed, E. V. Large-span metal dome roofs and their construction Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings / E. V. Lebed, A. U. Alukaev. – 2018. – № 14 (1). – P. 4–16.
4. ПСК инжиниринг. – URL: <https://pmkmetall.ru/info/articles/ukрупnitelnaya-sborka-metallokonstruktsiy-chto-eto-i-kogda-primenyaetsya/> (дата обращения: 10.05.2025). – Текст : электронный.
5. Калмыкова, Е. П. Эффективность применения блочного метода монтажа металлических конструкций в сравнении с поэлементным при возведении объектов / Е. П. Калмыкова // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 11 (47). – С. 162–166.
6. Шестакова, А. П. Технология монтажа большепролетных конструкций гражданских зданий на примере монтажа фермы многофункционального спортивного комплекса / Шестакова А. П., Гизатулин Р. Р. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 11. – 12 с. – URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_55_10_Shestakova_Gizatulin.pdf_7c17d8660f.pdf.
7. Анализ методов сборки сетчатых. – URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2022/RM22/pages/Articles/063104.pdf> (дата обращения: 10.05.2025). – Текст : электронный.
8. Влияние соблюдения проектной технологии сборки каркасных купольных покрытий на качество построенного объекта и его эксплуатационные свойства. – URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_124_6y2019_kunin_abramov_zabelina.pdf_80729305e6.pdf (дата обращения: 10.05.2025). – Текст : электронный.
9. Безопасность труда в строительстве : инженерные расчеты по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» / Д. В. Коптев, Г. Г. Орлов, В. И. Булыгин [и др.]. – Москва : АСВ, 2003. – 352 с. – ISBN 978-5-93093-197-6.

KONDRASHKIN Oleg Borisovich, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction technology; **KRIVOSHAPKINA Eva Andreevna**, student; **KHRYAPCHENKOVA Irina Nikolaevna**, candidate of technical sciences, professor of the chair of construction technology

TECHNOLOGY OF MOUNTING LARGE-SPAN STEEL STRUCTURES ON THE EXAMPLE OF SPATIAL LATTICE ARCS OF A FINITE-RING DOME

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 430-17-74; e-mail: tsp@nngasu.ru

Key words: long-span structures, technology, installation.



The study focuses on analyzing the technological processes of large-scale assembly and installation of a ribbed ring dome, as well as analyzing the impact of various factors on the efficiency and safety of installation work.

REFERENCES

1. SP 49.13330.2010. Bezopasnost truda v stroitelstve. Obshchie trebovaniya [Occupational safety in construction. General requirements]. Svod pravil : prinyaty i vvedeny v deystvie Postanovleniem Gosstroya Rossiyskoy Federatsii ot 23 iyulya 2001 g. N 80 : zaregistririvan v Minyuste Rossiyskoy Federatsii 9 avgusta 2001 g. N 2862 : data vvedeniya 2001-09-01. – URL: <http://www.consultant.ru> (accessed: 10.09.2025).
2. Kazakov Yu. N. Sovershenstvovanie tekhnologii stroitelstva bolsheproletnykh zdaniy [Improving the construction technology of large-span buildings]. Stroitelnoe proizvodstvo [Construction Production]. 2023, № 2, P. 66–70.
3. Lebed E. V., Alukaev A. U. Bolsheproletnye metallicheskie kupolnye pokrytiya i ikh vozvedenie [Large-span metal dome roofs and their construction]. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings]. 2018, № 14 (1), P. 4–16.
4. PSK inzhiniring [PSC Engineering]. – URL: <https://pmkmetall.ru/info/articles/ukrupnitelnaya-sborka-metallokonstruktsiy-chto-eto-i-kogda-primenyaetsya/> (accessed: 10.05.2025).
5. Kalmykova E. P. Effektivnost primeneniya blochnogo metoda montazha metallicheskh konstruktsiy v sravnenii s poelementnym pri vozvedenii obektov [Efficiency of the block method of installation of metal structures compared to the element-by-element method during the construction of facilities]. Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike [Technical Sciences - from Theory to Practice]. 2015, № 11 (47), P. 162–166.
6. Shestakova A. P., Gizatulin R. R. Tekhnologiya montazha bolsheproletnykh konstruktsiy grazhdanskikh zdaniy na primere montazha fermy mnogofunktsionalnogo sportivnogo kompleksa [Installation technology of large-span structures of civil buildings on the example of the installation of a truss of a multifunctional sports complex]. Inzhenerny vestnik Dona [Engineering Journal of Don]. 2021, № 11, 12 p. – URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_55_10_Shestakova_Gizatulin.pdf_7c17d8660f.pdf.
7. Analiz metodov sborki setchatykh [Analysis of methods for assembling mesh structures]. – URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2022/RM22/pages/Articles/063104.pdf> (accessed: 10.05.2025)
8. Vliyanie soblyudeniya proektnoy tekhnologii sborki karkasnykh kupolnykh pokrytiy na kachestvo postroennogo obekta i ego ekspluatatsionnye svoystva [Influence of compliance with the design technology of assembly of frame dome coverings on the quality of the constructed object and its operational properties]. – URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_124_6y2019_kunin_abramov_zabelina.pdf_80729305e6.pdf (accessed: 10.05.2025).
9. Koptev D. V., Orlov G. G., Bulygin V. I. [et al.] Bezopasnost truda v stroitelstve : inzhenernye raschety po distsipline «Bezopasnost zhiznedeyatelnosti» [Occupational safety in construction: engineering calculations for the discipline "Life Safety"]. Moscow, ASV, 2003, 352 p. ISBN 978-5-93093-197-6.

© О. Б. Кондрашкин, Е. А. Кривошапкина, И. Н. Хряпченкова, 2025

Получено: 10.08.2025 г.