



УДК 624.074.4.12.35

DOI: 10.22227/2949-1622.2024.1.79-90

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/ RESEARCH ARTICLE

Сборно-монолитные железобетонные большепролетные оболочки уникальных зданий из укрупненных элементов

Н.С. Раззаков^{1*}

¹ Научно-производственное объединение ООО «Пространственные конструкции, сейсмостойкость зданий и сооружений», Джамбай, Узбекистан

* npl-spk@list.ru

Ключевые слова: железобетон, большепролетный, оболочка, монтаж, уникальные здания, укрупненный элемент

История статьи

Поступила в редакцию: 17.07.2023

Доработана: 30.07.2023

Принята к публикации: 08.08.2023

Для цитирования

Раззаков Н.С. Сборно-монолитные железобетонные большепролетные оболочки уникальных зданий из укрупненных элементов // Железобетонные конструкции. 2024. Т. 5. № 1. С. 79–90.

Аннотация. Приводятся результаты экспериментально-теоретических исследований, разработанных большепролетных сборно-монолитных железобетонных оболочек сложной геометрии, собираемых из укрупненных монтажных элементов. Исследования проводились на натурных составных оболочках пролетом 48 и 96 м, ее укрупненных элементах 3 × 18 м и 3 × 24 м, а также на модели оболочки в масштабе 1:10 и 1:4. Исследовано напряженно-деформированное состояние оболочек подобного типа при разных вариантах монтажа и раскручивания конструкции. Даются рекомендации по рациональным методам возведения оболочек из укрупненных элементов для уникальных зданий общественного назначения.

Precast-Monolithic Reinforced Concrete Large-Span Shells of Unique Buildings from Enlarged Elements

Nurmuhammadkhon S. Razzakov^{1*}

¹ Scientific and production associations LLC “Spatial structures, seismic resistance of buildings and structures”, Djambay, Uzbekistan

* npl-spk@list.ru

Keywords: reinforced concrete, large-span, shell, installation, unique buildings, enlarged elements

Abstract. The stress-strain state of precast monolithic reinforced concrete shells from enlarged elements taking into account the installation conditions. The results of experimental-theoretical studies of precast monolithic reinforced concrete shells of complex geometry assembled from enlarged elements are given.

Нурмухаммадхон Сайидмахсуд угли Раззаков, доктор философии по техническим наукам (PhD), старший научный сотрудник Научно-производственного объединения ООО «Пространственные конструкции, сейсмостойкость зданий и сооружений», г Джамбай, Узбекистан, 140400, e-mail: npl-spk@list.ru.

© Раззаков С.Р., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Article history

Received: 17.07.2023

Revised: 30.07.2023

Accepted: 08.08.2023

For citation

Razzakov N.S. Precast-Monolithic Reinforced Concrete Large-Span Shells of Unique Buildings from Enlarged Elements. *Reinforced Concrete Structures*. 2024; 1(5):79-90.

The studies were carried out on full-scale composite shells 48×48 m and diameter 96m, its enlarged elements 3×18 m and 3×24 m as well as on the shell model on a scale of 1:10 and 1:4. The stress-strain state of shells of a similar type was studied with different mounting and splitting designs. Recommendations are given on rational methods for the construction of shells from enlarged elements for public buildings.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие конструктивных решений большепролетных уникальных зданий с применением сборно-монокристаллических железобетонных оболочек сложной геометрии связано с задачами совершенствования методов их монтажа и раскручивания (рис. 1). Монтаж этих оболочек может осуществляться с применением сплошных лесов и кондукторов или предварительно укрупненных монтажных секций арочного типа, навесным способом [1, 2]. В настоящее время получает развитие монтаж оболочек вторым способом [2, 3].

Для пологих оболочек оптимальным методом монтажа является применение укрупненных монтажных элементов длиной до 24 м [3, 5, 6]. В этом случае каждый укрупненный сборный элемент представляет конструкцию сводчатого типа с временной монтажной затяжкой [4, 7, 8].

Целью настоящего исследования является разработка эффективных конструктивных решений большепролетных уникальных зданий комбинацией методов монтажа оболочек с помощью сплошных лесов с разреженными опорами с методами укрупнения монтажных элементов, исследование напряженно-деформированного состояния, разработка методик расчета и рациональных способов возведения оболочек покрытий.

Задачи исследования: изучение изменения напряженно-деформированного состояния балочных и оболочечных систем в стадиях возведения возможности применения укрупненного этого метода монтажа для составных и сопряженных оболочек уникальных зданий с квадратным или произвольным планом (рис. 1).

Для решения данной задачи проведены исследования напряженно-деформированного состояния сборно-монокристаллических составных оболочек в стадиях монтажа, раскручивания и перехода в стадию эксплуатации. Выполнен анализ результатов испытаний составных оболочек с боковыми элементами отрицательной и положительной кривизны размерами $4,8 \times 4,8$ м и 12×12 м; секторальных оболочек размером $4,8 \times 4,8$ м; отдельно стоящих и сопряженных куполов диаметром 3,6 и 6 м [5, 7, 8].

МЕТОДИКА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ В МОНТАЖНОЙ СТАДИИ

Для разработки рационального способа монтажа составных оболочек моделирование монтажного состояния производилось на сборно-монтажных составных оболочках пролетом 48,96 м и моделях масштабом М 1:10 и М 1:4. Оболочки возведены комбинированным методом монтажа с применением сборных укрупненных монтажных блоков 3×18 м, $0,75 \times 0,85$ м и $0,3 \times 0,8$ м, соответствующих масштабу моделирования М 1:1, М 1:4 и М 1:10.

Изучались последовательности монтажа, их влияние на изменение работы всего покрытия. Статическая работа оболочки в стадии монтажа и эксплуатации анализировалась в трех типах соединений центральных и боковых оболочек: соединение отдельно стоящих центральных и боковых оболочек только с общей диафрагмой; соединение с помощью дискретных связей; монокристаллическое, с замоноличиванием стыков между оболочками вдоль всей линии сопряжения над центральной диафрагмой.

Nurmuhammadkhon Saidmohsud o'gli Razzakov, Senior Research Fellow, PhD, Scientific and production associations LLC "Spatial structures, seismic resistance of buildings and structures", Djambay, 140400, Republic of Uzbekistan, e-mail: npl-spk@list.ru.

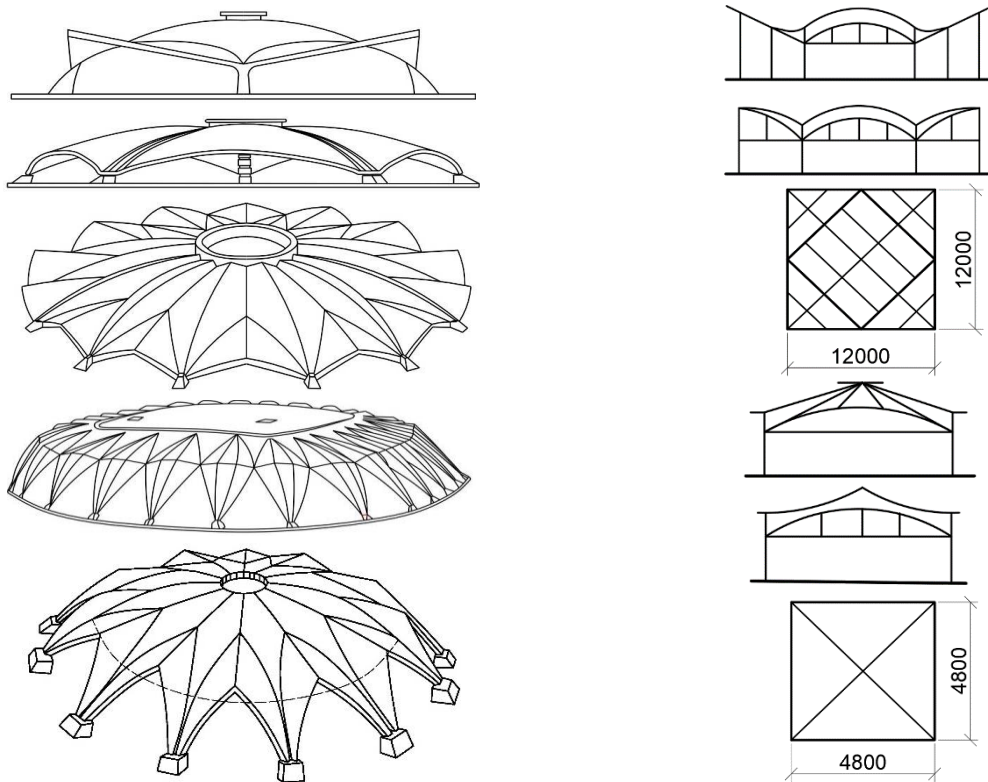


Рис. 1. Конструктивные схемы большепролетных составных оболочек уникальных зданий, исследованных в монтажной стадии

Figure 1. Structural schemes of long-span composite shells of unique buildings studied at the installation stage

На моделях отдельно стоящих центральных и боковых оболочек, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой от собственного веса, равной $1,7 \text{ кН/м}^2$, в области линейной работы определялось напряженно-деформированное состояние покрытия. После чего методами моделирования изучались два основных способа раскруживания.

В первом способе раскруживания сначала опускались монтажные балки и опоры (стойки). Затем снимались усилия в монтажных затяжках. Во втором — сначала снимались монтажные затяжки, затем опускались монтажные балки и опоры. Варианты раскруживания повторялись по три раза.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ МОНТАЖА И ДЕМОНТАЖА ОБОЛОЧКИ

Анализ проведенных исследований, опыт проектирования и строительство зданий и сооружений свидетельствуют о том, что дальнейшее развитие конструкций оболочек в значительной степени связано с задачей совершенствования их методов монтажа.

По методам монтажа сборные оболочки можно разделить на две группы:

- оболочки, монтируемые с помощью лесов или кондукторов;
- оболочки, монтируемые с использованием укрупненных элементов или навесным способом.

Большинство ранее построенных конструкций можно отнести к оболочкам первой группы. Первоначально такие оболочки монтировались на ригельно-стоечных лесах, затем на жестких кондукторах. Однако это приводило к значительным трудозатратам при монтаже и металлоемкости оснастки.

Исследования, проведенные в ЦНИИПромзданий, ЦНИИСМТП, ПИ-1 НИИЖБ, МНИ-ИТЭП (г. Москва, Россия), ПКСЗИС (г. Жамбай, Самарканд) [1–7] показали, что для оболочек

пролетом до 24 м оптимальным является метод монтажа без лесов, с применением крупноразмерных самонесущих монтажных элементов, собираемых методом предварительной укрупнительной сборки нескольких панелей размерами 3×6 м на площадке строительства. При таком методе сборки покрытия укрупненные элементы устанавливаются непосредственно на диафрагмы оболочки. После замоноличивания швов временные затяжки демонтируются. Преимущество этого метода монтажа заключается в отсутствии временных опор и дальнейшем снижении трудоемкости монтажных работ.

Весьма актуальной является задача изыскания рациональных конструкций оболочек большего пролета (36 м и более) для уникальных зданий на основе оптимальной технологий их возведения с использованием предварительной укрупнительной сборки элементов.

В настоящее время механика оболочек достигла такого уровня математизации, что расчет пространственных конструкций стал привилегией отдельных высококвалифицированных специалистов. Отдавая должное точным методам расчета оболочек с помощью компьютерной технологии, следует отметить особую ответственность и высокую трудоемкость составления и отладки программы для каждого типа оболочек. Важное значение при этом приобретают практические способы расчета пространственных систем, обоснованных экспериментальным методом моделирования, для оценки различных стадий напряженно деформированного состояния [1–3, 7–11].

Разработка новых конструкций и решение теоретических вопросов без использования моделирования невозможны, а испытания моделей позволяют сэкономить затрачиваемые денежные средства [12, 16].

Оценка прочности, устойчивости, жесткости, трещиностойкости и безопасности различных типов оболочек покрытий в стадии монтажа представляет собой малоизученную область. Поэтому применялись экспериментальные исследования, проведенные на крупных моделях с масштабом М 1:4 и М 1:10 с последующим применением в натурных объектах (рис. 1) На этих конструкциях решались конкретные задачи, а именно проектирование оболочек, работающих в стадии монтажа и при эксплуатационных воздействиях, и разработка рекомендаций для широкого внедрения этих конструкций покрытий в строительство.

Автором статьи был развит и обобщен опыт натурального применения в области исследований железобетонных пространственных конструкций на моделях [1–3, 10–16].

На рис. 2 представлена конструкция, предложенная автором опытной оболочки, очерченной по круговой поверхности радиусом 124,8 м и имеющей размеры 96×96 м. Системой меридиональных и кольцевых сечений оболочка разрезана на цилиндрические ребристые панели. Контур оболочки решен в виде полигонального пояса из сборных железобетонных ригелей длиной 11,5 м сечением 500×1800 мм, опирающихся на колонны сечением $\varnothing 462$ мм с шагом 6 м.

Монтаж оболочки осуществляется по предложению автора комбинаций сплошных лесов методом предварительной укрупнительной сборки панелей в самонесущие монтажные элементы с применением линии монтажных балок и опор, расположенных посередине конструкции.

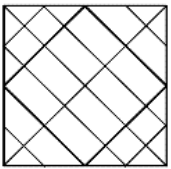
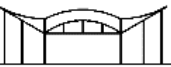
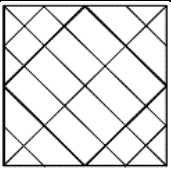
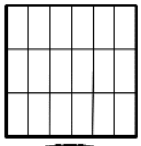
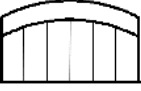
Средняя зона оболочки, расположенная между монтажными балками жесткости сеткой 18×18 м, собирается из укрупненных монтажных элементов. Крайние зоны сеткой шириной по 12 м собираются также из укрупненных монтажных элементов.

Укрупненный элемент оболочки (рис. 2) собирается из трех панелей (П-1, П-2 и П-3) и имеет размеры 3×18 м. Продольные ребра панелей соединяются между собой накладками без замоноличивания стыка между панелями. Снизу панелей расположена инвентарная затяжка шпренгельного типа.

Автором затяжки является А.В. Шапиро (Санкт-Петербург, ПИ-1), и в нее внесли отдельные конструктивные усовершенствования В.Ф. Шабли (МНИИТЭП, Москва) и Д.М. Ботиров (ПКЗИС, Жамбай, Самарканд) [5, 7, 11, 20].

Таблица
Table

Характеристика исследуемых типов оболочек и моделей
(Characterization of the investigated shell types and models)

Исследуемые оболочки, маркировка элементов (Studied shells, labeling of elements)	Эскиз (Sketch)	Масштаб, м (Scale, m)	Назначение (Purpose)
Составные ребристые, с боковыми элементами отрицательной гауссовой кривизны М-1 (Composite ribbed, with side elements of negative Gaussian curvature M-1)	 	М 1:10 4,8 × 4,8 (М 1:10 4.8 × 4.8)	Изучение напряженно-деформированного состояния при монтажных нагрузках. Оценка прочности, устойчивости жесткости трещиностойкости и безопасности при различных сочетаниях монтажной нагрузки; выявление рациональных способов монтажа и демонтажа (Study of stressed and deformed state under assembly loading. Estimation of strength, stability, rigidity, crack resistance and safety at different combinations of mounting load; identification of rational methods of mounting and dismantling)
Составные ребристые с боковыми элементами отрицательной гауссовой кривизны М-2 (Composite ribbed with side elements of negative Gauss curvature M-2)	 	М 1:4 12 × 12 (М 1:4 12 × 12)	Изучение напряженно-деформированного состояния при монтажных и эксплуатационных воздействиях (Study of stress-strain state under installation and operational impacts)
Полые ребристые оболочки положительной гауссовой кривизны с квадратным планом (Hollow ribbed shells of positive Gaussian curvature with a square plan)	 	96 × 96 (96 × 96)	Изучение напряженно-деформированного состояния при различных уровнях и сочетаниях монтажной нагрузки. Выявление рациональных способов монтажа и демонтажа оболочки (Study of stressed-deformed state at different levels and combinations of mounting load. Identification of rational methods of mounting and dismantling of the shell)

Сборка элемента производится на стенде. Исследование монтажного состояния полых ребристых оболочек (рис. 2, табл.) осуществлялось с применением комбинированного метода укрупненной сборки, предложенного автором.

Монтажные стадии включали два основных этапа.

1. Оболочка полностью собрана, укрупненные элементы 3 × 18 м опираются на перекрестные постоянно остающиеся после монтажа балки жесткости сеткой 18 × 18 м и монтажные стойки, установленные на пересечении опоры пролетом 18 м. Швы между панелями не замоноличены. Укрупненный элемент является самонесущей конструкцией. После замоноличивания швов между панелями и твердения бетона напряженно-деформированное состояние не меняется, но покрытие трансформируется в единую пространственную систему, в которой все последующие усилия будут восприниматься как в оболочке.

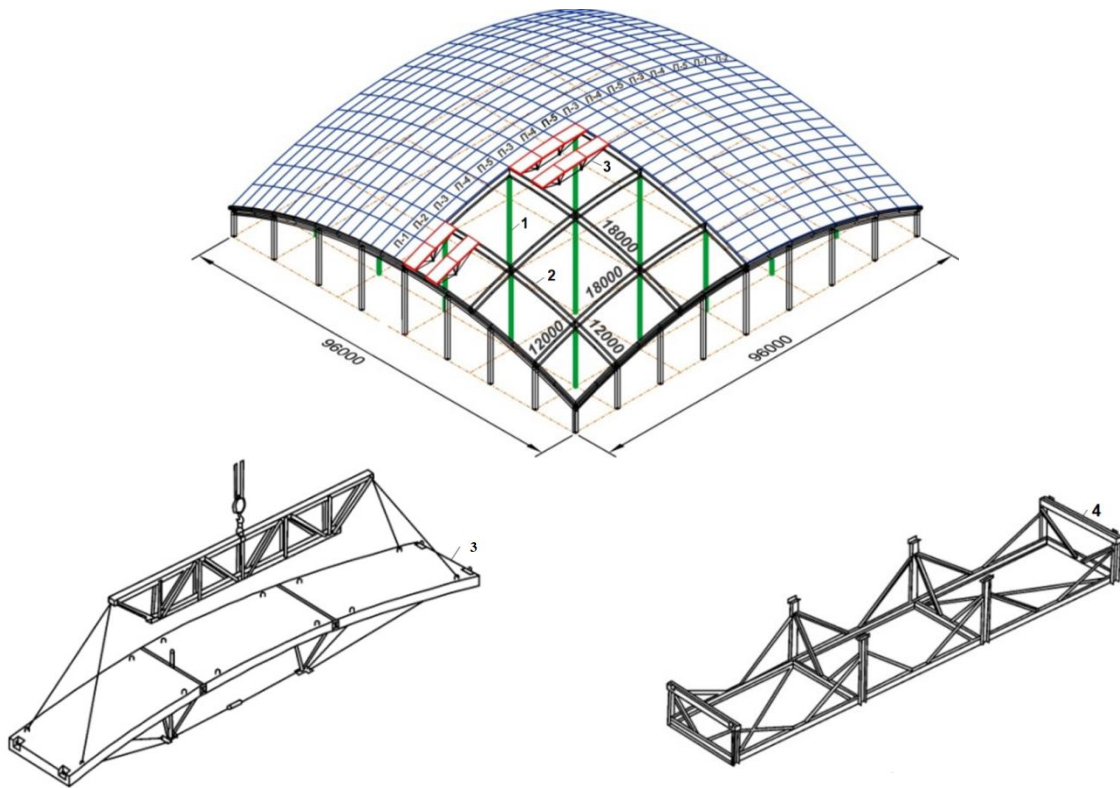


Рис. 2. Монтажные стадии опытные большепролетные уникальные здания с укрупненной монтажной секцией:
1 — монтажные стойки; 2 — перекрестные балки жесткости; 3 — монтажная секция; 4 — стенд для укрупненной сборки

Figure 2. Assembly stages of experimental large-span unique buildings with an enlarged assembly section:
1 — mounting racks; 2 — cross stiffening beams; 3 — assembly section; 4 — stand for enlarged assembly

2. При раскручивании оболочки, т.е. при освобождении конструкции от монтажных стоек и временных затяжек, изменяется напряженно-деформированное состояние покрытия вследствие удаления временных связей и опор. Удаление временных связей можно представить приложением усилий, равных реакциям снятых опор, направленных в противоположную сторону. В отличие от этого раскручивание оболочки на сплошных лесах соответствует приложению нагрузок, распределенных равномерно по всей площади покрытия.

Испытания модели укрупненного монтажного элемента М-1 масштабом 1:10 размерами $0,3 \times 1,8$ м, М-2 масштабом 1:4 размерами $0,75 \times 8,5$ м и натурной конструкции масштабом 1:1, размерами 3×18 м показали достаточную несущую способность, жесткость и трещиностойкость [7, 16–18].

Статическая работа оболочки в стадии монтажа, раскручивания, перехода в эксплуатационное состояние анализировалась в двух типах геометрических форм оболочек (рис. 3), в которых итоговые величины перемещений и напряженное состояние в его элементах были наиболее благоприятными. Для этого проводилось два этапа экспериментальных исследований.

На первом этапе экспериментальных исследований в отдельно стоящих центральных и не связанных между собой боковых оболочках отрицательной гауссовой кривизны, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой, от собственного веса равной $1,7 \text{ кН/м}^2$, определялось напряженно-деформированное состояние всего покрытия. После чего изучались два основных способа раскручивания. В первом способе сначала опускались монтажные стойки и балки, затем снимались усилия в монтажных затяжках, во втором — сначала снимались монтажные затяжки, затем опускались монтажные стойки и балки. Варианты раскручивания состояли из семи последовательных циклов.

При этом анализировалось напряженно-деформированное состояние на каждом этапе исследования.

В первом способе раскружаливания при опускании монтажных балок первоначальные усилия в затяжках центральных и боковых оболочек уменьшались на 21–34 %, которые значительно облегчают демонтаж затяжек. При этом наблюдался более благоприятный характер напряженного состояния в ребрах панелей оболочек.

При опускании монтажных стоек и балок наибольший прогиб в центральной оболочке составлял 2,9 мм, или 1/1155 пролета, в боковой оболочке — 1,9 мм, или 1/1786 пролета. Дальнейшее снятие усилий в монтажных затяжках привело к увеличению начальных прогибов центральной и боковой оболочек соответственно в 1,2 и 1,15 раза.

Таким образом предложено, что для выполнения раскружаливания оболочек необходимо первоначально отпустить монтажные стойки и балки, после чего необходимо снять усилия в затяжках. Аналогичные результаты исследования получены для составных оболочек пролетом 12 м.

На втором этапе экспериментальных исследований определялось напряженно-деформированное состояние центральных и четырех боковых оболочек отрицательных гауссовой кривизны, монолитно связанных между собой и установленных на общие четыре арочные диафрагмы (рис. 3). Нагрузка была аналогичной 1,7 кН/м².

Сравнительный анализ исследований по двум вариантам раскружаливания, осуществленных первоначально в центральной, затем в боковых оболочках составных оболочек, показал, что при использовании первого варианта раскружаливания прогибы для середины пролета оболочки и диафрагмы были меньше соответственно в 1,65 и 1,4 раза. Аналогичное явление наблюдалось для горизонтальных перемещений оболочки, которые уменьшились в 1,15–1,27 раза для различных сторон контурных конструкций боковых элементов оболочек.

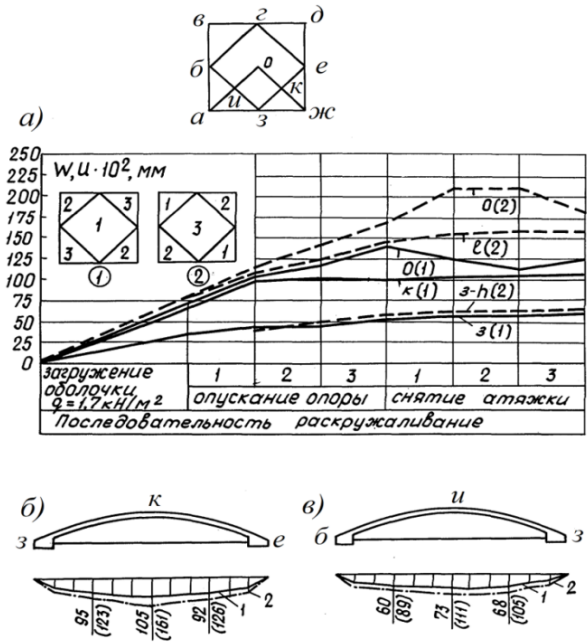


Рис. 3. Изменение прогибов монолитно соединенной составной оболочки 4,8 × 4,8 м в монтажной и демонтажной стадии: а — изменение перемещений в процессе загрузки монтажной нагрузкой и раскружаливания оболочки; б, с — прогибы средних диафрагм вдоль линии монтажных затяжек и балок; 1, 2 (в скобках) — варианты раскружаливания

Figure 3. Change in deflections of a monolithically connected composite shell 4.8 × 4.8 m in the assembly and disassembly stages: а — change in displacements in the process of loading with the mounting load and shell circling; б, с — deflections of the middle diaphragms along the line of mounting puffs and beams; 1, 2 (in parentheses) — rounding options

Наименьшее значение продольных усилий и изгибающих моментов получено по первому варианту раскружаливания, создающего благоприятный характер напряженного состояния оболочки, что свидетельствует о целесообразности его применения.

В процессе *первого способа* раскружаливания оболочки осадка всех стоек производилась одновременно этапами по 5 мм. Отрыв монтажной оснастки от покрытия произошел сначала у краев монтажных балок при осадке стоек на 4 мм, затем в средней зоне оболочки при осадке стоек на 15 мм. Отделение всей монтажной оснастки от оболочки произошло при осадке стоек на 20 мм. Это явление объясняется упругим уменьшением прогиба средней контурной арки при снятии с нее нагрузки.

Первоначальные усилия в затяжках центральных и боковых оболочек при опускании монтажных балок уменьшались на 35–20 %. Это позволило значительно облегчить демонтаж затяжек. При этом наблюдался более благоприятный характер напряженного состояния в ребрах панелей оболочек. На рис. 4 приведены эпюры прогибов оболочки из отдельных элементов в процессе опускания монтажных балок, снятия усилий в затяжках и применения в монтажных затяжках предварительного натяжения.

При опускании монтажных балок наибольший прогиб в центральной оболочке составлял 2,85 мм, или 1/1174 пролета, в боковой оболочке — 2,2 мм, или 1/1542 пролета. Дальнейшее снятие усилий в монтажных затяжках привело к увеличению прогибов центральной и боковой оболочек соответственно в 1,2 и 1,15 раза.

Для снижения прогиба оболочки от эксплуатационных нагрузок до раскружаливания производилось натяжение монтажных затяжек с контролированием усилий и выгиба оболочки. Это привело к снижению максимальных прогибов центральной и боковой оболочки в 1,4 и 1,23 раза. С увеличением усилия от натяжения в затяжках прогибы оболочек уменьшались до 2 раз. Следует также отметить, что при снятии затяжек горизонтальные перемещения в контурных ригелях боковых оболочек увеличивались до 15 %.

При *втором способе* раскружаливания оболочки покрытия производилось снятие усилий в 24 затяжках центральной оболочки и в 28 затяжках в четырех боковых оболочках. Снятие усилий производилось последовательно, как и в первом способе, после чего опускались монтажные балки, что привело к незначительному изменению напряженно-деформированного состояния оболочки. Эпюры прогибов и усилий имели более плавный характер (рис. 4).

Максимальные значения прогиба для центральных и боковых оболочек составили соответственно 0,45 и 0,43 мм.

Опускание монтажных балок привело к увеличению прогибов в 9,14 и 6,8 раза, что составляло 3,93 и 2,92 мм. Эпюры усилий и прогибов в этом случае носят неравномерный характер. Пиковые значения эпюр соответствовали местам примыкания монтажных балок и затяжек. Сравнение прогибов оболочки при двух способах раскружаливания показало, что применение второго способа привело к увеличению прогибов центральных и боковых оболочек соответственно в 1,35 и 1,3 раза. Это подтверждает целесообразность применения первого способа раскружаливания. Анализ исследований по двум вариантам раскружаливания составных оболочек показал, что при использовании первого варианта раскружаливания прогибы для середины пролета оболочки и диафрагмы уменьшались соответственно в 1,7 и 1,5 раза.

Аналогичное явление наблюдалось для горизонтальных перемещений оболочки, которые уменьшились в 1,14–1,3 раза для различных сторон контурных конструкций боковых элементов оболочек. Наименьшее значение продольных усилий и изгибающих моментов получено по первому варианту раскружаливания, создающего благоприятный характер напряженного состояния оболочки, что свидетельствует о целесообразности его применения.

Таким образом, в стадии монтажа в двух средних диафрагмах возникали усилия от собственной массы арочных укрупненных элементов, а после замоноличивания стыков в процессе раскружаливания в этих диафрагмах усилия оставались без значительных изменений.

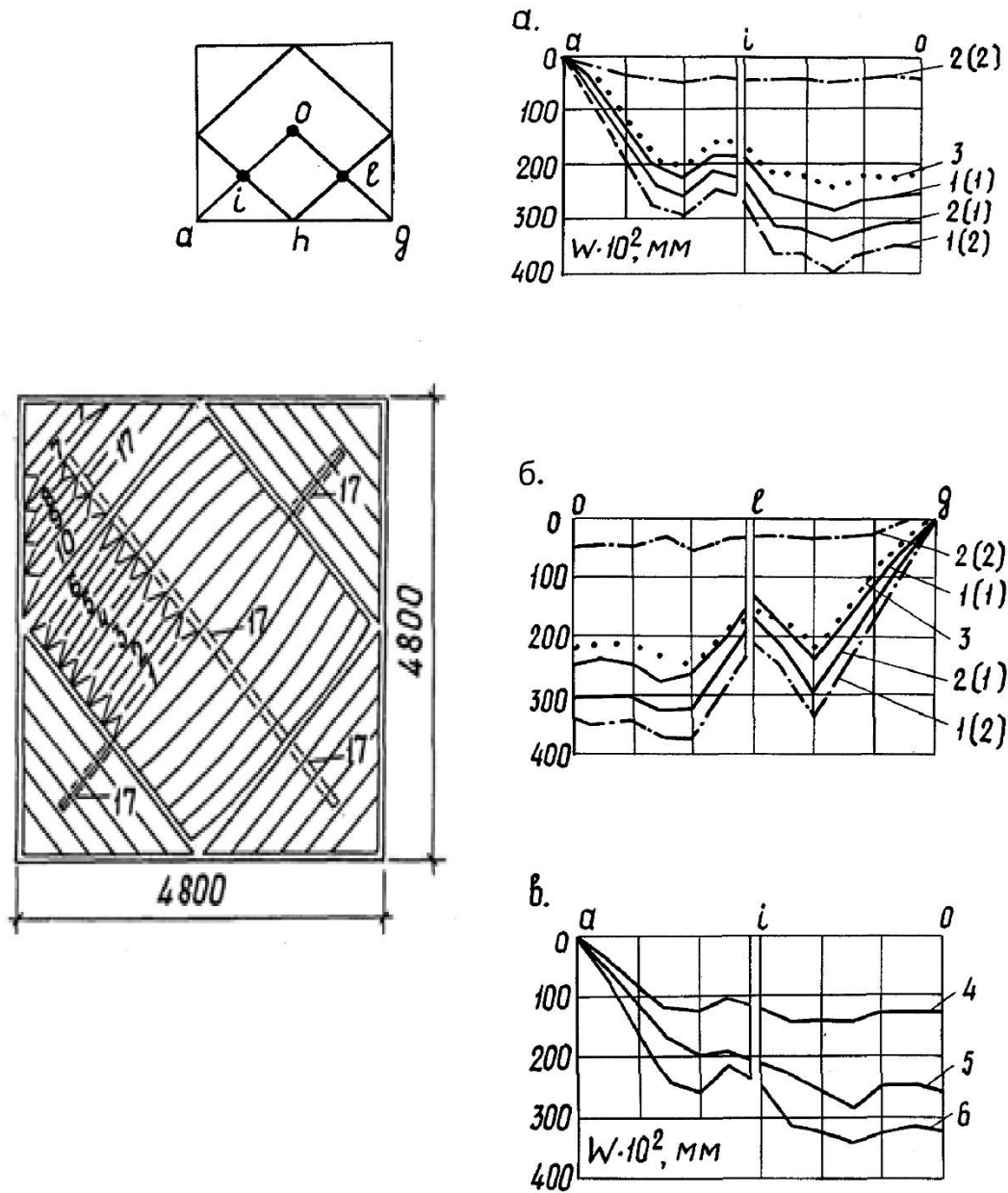


Рис. 4. Схема расстановки монтажных затяжек и балок, последовательности их снятия (1–16, 17). Прогибы составной оболочки: *a* — $4,8 \times 4,8$ м при загрузке нагрузкой $1,7 \text{ кН/м}^2$; *b, c* — вдоль линии затяжек и монтажных балок; *d* — для различных типов соединений центральных и боковых оболочек; 1 — при опускании монтажных балок; 2 — при снятии затяжек; (1), (2) — варианты раскручивания; 3 — при натяжении монтажной затяжки; 4 — для монолитных соединений; 5 — с дискретными связями; 6 — для отдельностоящих оболочек

Figure 4. Scheme of arrangement of mounting ties and beams, the sequence of their removal (1–16, 17) and mounting beams; *d* — for various types of connections of the central and side shells; 1 — when lowering the mounting beams; 2 — when removing puffs; (1), (2) — means options for spinning; 3 — when tensioning the mounting tightening; 4 — for monolithic connections; 5 — with discrete connections; 6 — for free-standing shells

В двух остальных диафрагмах возникли усилия от распора затяжек укрупненных арочных элементов. Перераспределение усилий в диафрагмах происходило в основном в процессе раскручивания оболочки. Результаты исследований сравнивались с данными расчета по специ-

ально разработанной программе. Сопоставление прогибов и усилий показало, что максимальные расчетные величины отличаются от эксперимента в 2 раза. Это объясняется тем, что в стадии монтажа в расчетах оболочки не учитывалась податливость контурных диафрагм и монтажное состояние. Таким образом, оценка напряженно-деформированного состояния пространственных систем только в стадии эксплуатации, без учета условий монтажа, дает заниженные результаты. Было выполнено численное исследование с проверкой возможности применения результатов этих исследований для оценки работы оболочек различных геометрических форм. Для уникальных большепролетных зданий с пролётами 48–96 м оно показало целесообразность данной методики для широкого применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований разработанных конструктивных решений большепролетных оболочек уникальных зданий из унифицированных монтажных элементов можно сделать следующие выводы:

1. Рациональным типом покрытий общественных уникальных зданий являются сборно-монолитные железобетонные оболочки положительной гауссовой кривизны, очерченные по круговой поверхности, состоящие из унифицированных цилиндрических панелей размерами 3×6 м.

Монтаж таких оболочек рекомендуется осуществлять комбинацией методов сплошных лесов с методом предварительной укрупнительной сборки панелей в сводчатые монтажные элементы с временными затяжками пролетов 18 м, которые устанавливаются на контур оболочки и несколько линий постоянно остающихся балок жесткостей и монтажных опор.

При этом уменьшаются трудозатраты монтажа на 26 % по сравнению с оболочками, собираемыми на сборочных кондукторах. Вес комплекта монтажной оснастки для разработанной оболочки 96×96 м снижается в 2,4 раза по сравнению со сборочным кондуктором оболочки 36×36 м.

2. На основе современных методов моделирования разработана методика исследования, модели новых эффективных конструктивных решений сборно-монолитных оболочек масштабам М1:10, 1:4, 1:1, исследованы их напряженно-деформированные состояния в стадиях монтажа и демонтажа с учетом изменяющихся расчетных параметров с обеспечением высокой точности и надежности, особенно, при оценке их прочности, жесткости, устойчивости и безопасности.

3. Экспериментальные исследования, выполненные на масштабных моделях, позволили проанализировать различные варианты монтажа и выявить рациональный способ раскружаливания оболочки. Установлено, что необходимо сначала опустить монтажные стойки, затем снять усилия во временных затяжках. При этой последовательности раскружаливания ребра панелей работают в более благоприятных условиях; опускание стоек приводит к снижению усилий в затяжках в среднем на 27,5 %, что облегчает их демонтаж.

4. Для составных и сопряженных оболочек установлено, что рациональным является последовательность раскружаливания, при которой раскружаливание выполняется сначала для центральных оболочек, после чего сопряженных с ними боковых оболочек. При этой последовательности раскружаливания для середины пролета центральных оболочек и арочных диафрагм прогибы уменьшались соответственно в 1,65 и 1,5 раза, составили 1,25 и 1,06 мм.

Аналогичное явление наблюдалось для горизонтальных перемещений оболочки, которые уменьшались в 1,16–1,28 раза или составили 0,6–0,65 мм, что значительно облегчает демонтаж сложных составных геометрических форм оболочек.

В заключение следует отметить, что применение исследованных рациональных вариантов монтажа и раскручивания позволяет внедрить эффективные оболочки покрытий в уникальных большепролетных зданиях с различной геометрической формой плана с регулированием минимальных усилий при переходе в эксплуатационную стадию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремеев П.Г. Современные стальные конструкции большепролетных покрытий уникальных зданий и сооружений. М. : Издательство АСВ, 2009. 336 с.
2. Раззаков С.Р. Составные железобетонные оболочки покрытий зданий в условиях длительной эксплуатации и сейсмических воздействий. Ташкент : Издательство Академии наук Республики Узбекистан «Фан», 2004. 380 с.
3. Шугаев В.В. Инженерные методы в нелинейной теории предельного равновесия оболочек. М. : Готика, 2001. 368 с.
4. Razzakov S.R. Composite reinforced concrete lightened shell coverings for seismic regions. IASS-98. June 22.26.1998. Vol. II. Pp. 664–671.
5. Духовычный Ю.А., Жуковский Э.З. и др. Современные пространственные конструкции. М. : Высшая школа, 1991. 543 с.
6. Колчунов В.И., Айдрасова Н.Б., Ключева Н.В., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М. : Издательство АСВ, 2014. 208 с.
7. Раззаков Н.С. Железобетонные оболочки покрытий уникальных большепролетных зданий в стадии возведения. Ташкент : Издательство «Фан» Академии наук Республика Узбекистан, 2022. 212 с.
8. Тамаразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона : монография. М., 2012. 24 с.
9. Городецкий А.С. Компьютерные модели конструкций. Киев : Факт, 2005. 344 с.
10. Кабанцев О.В. Расчет несущих конструкций зданий с учетом истории возведения и поэтапного изменения основных параметров расчетной модели // Промышленное и гражданское строительство, 2012. № 7. С. 33–35.
11. Колчунов В.И., Пятикрестовский К.П., Ключева Н.В. Пространственные конструкции покрытий. М. : Издательство АСВ, 2008. 352 с.
12. Meyer C. Nonlinear analysis of R/C structures in practice. Proc. ASCE, J., Struct., Divis, 1992. Vol. 106. Pp. 1605–1622.
13. E 7-02. “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures 2002 edition”. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2002.
14. Олейник П.П., Бродский В.И. Методы возведения железобетонных куполов. М. : Издательство АСВ, 2016. 232 с.
15. Перельмутер А.В., Кабанцев О.В. Анализ конструкций с изменяющейся расчетной схемой. М. : Издательство АСВ, 2015. 148 с.
16. Razzakov N.S. International Science and Modeling the Construction Stages of Large Span Spatial Unique Buildings of Complex Geometry/Modeling and methods of structural analysis. JOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2020. Vol. 1425. P. 012100. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012100
17. C 4-023-03 “Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse” Department of Defense USA, 2005.
18. Sayfiddinov S., Akhmediyorov U.S., Razzakov N.S., P.S. Akhmedov. Optimization of modeling while increasing energy efficiency of building structures of public buildings // ISJ Theoretical & Applied Science. 2020. Vol. 06 (86). Pp. 16–19.
19. Шугаев В.В., Соколов Б.С., Пахсин Д.В. Экспериментально-теоретические исследования сводчатого покрытия из панелей КЖС // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 5. С. 67–73.
20. Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции. М. : Издательство АСВ, 2008. 124 с.

REFERENCES

1. Eremeev P.G. *Modern steel structures of large-span coatings of unique buildings and structures*. Moscow, ASV Publishing House, 2009; 336. (rus.).
2. Razzakov S.R. *Composite reinforced concrete shells of building coverings under conditions of long-term operation and seismic effects*. Tashkent, Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan “Fan”, 2004; 380. (rus.).
3. Shugaev V.V. *Engineering methods into non-linear theory of limit equilibrium of shells*. Moscow, Publishing house Gothic, 2001; 368. (rus.).
5. Dukhovychny Yu.A., Zhukovsky E.Z. et al. *Modern spatial constructions*. Moscow, Publishing houses Graduate School, 1991; 543. (rus.).

6. Kolchunov V.I., Aydrosova N.B., Klyueva N.V., Bukhtiyarova A.S. *Vitality of buildings and structures under off-design impacts*. Moscow, ASV Publishing House, 2014; 208. (rus.).
7. Razzokov N.S. *Reinforced concrete shells of unique large-span buildings under construction*. Tashkent, Publishing house "Fan" Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 2022; 212. (rus.).
8. Tamarazyan A.G., Yesayan S.G. *Mechanics of concrete creep : monograph*. Moscow, 2012; 24. (rus.).
9. Gorodetsky A.S. *Computer models of structures*. Kyiv, Fact publishing house, 2005; 344. (rus.).
10. Kabantsev O.V. Calculation of load-bearing structures of buildings, taking into account the history of construction and a phased change in the main parameters of the calculation model. *Industrial and civil construction*. 2012; 7:33-35. (rus.).
11. Kolchunov V.I., Pyatikrestovsky K.P., Klyueva N.V. *Spatial constructions of coatings*. Moscow, ASV publishing house, 2008; 352. (rus.).
12. Meyer C. *Nonlinear analysis of R/C structures in practice*. Proc. ASCE, J., Struct., Divis. 1992; 106:1605-1622.
13. E 7-02. "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures 2002 edition". American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2002.
14. Oleinik P.P., Brodsky V.I. *Methods for erecting reinforced concrete domes*. Moscow, ASV Publishing House, 2016; 232. (rus.).
15. Perelmuter A.V., Kabanetsev O.V. *Analysis of structures with a changing design scheme*. Moscow, ASV Publishing House, 2015; 148. (rus.).
16. Razzokov N.S. International Science and Modeling the Construction Stages of Large Span Spatial Unique Buildings of Complex Geometry. Modeling and methods of structural analysis. *JOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf: Series*. 2020; 1425:012100. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012100
17. C 4-023-03. "Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse" Department of Defense USA, 2005.
18. Sayfiddinov S., Akhmadiyrov U.S., Razzokov N.S., P.S. Akhmedov. Optimization of modeling while increasing energy efficiency of building structures of public buildings. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2020; 06(86):16-19.
19. Shugaev V.V., Sokolov B.S., Pakhsin D.V. Experimental-theoretical studies of vaulted roofing from KZhS panels. *Structural mechanics and analysis of structures*. 2007; 5:67-73. (rus.).
20. Kancheli N.V. *Structural spatial structures*. Moscow, Publishing house ASV, 2008; 124. (rus.).