

## ТЕОРИЯ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК THEORY OF THIN ELASTIC SHELLS

DOI 10.22363/1815-5235-2020-16-3-233-240  
УДК 69.001.12:72.01:514.75

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

### Большепролетные структуры в дипломных проектах студентов РУДН

И.А. Мамиева

Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6  
i\_mamieva@mail.ru

#### История статьи:

Поступила в редакцию: 22 января 2020 г.

Доработана: 05 марта 2020 г.

Принята к публикации: 14 апреля 2020 г.

#### Аннотация

В настоящее время возвращается интерес к проектированию и применению оболочечных конструкций в архитектуре и строительстве. В связи с появлением современных компьютеров, уточненных методов расчета оболочек, новых строительных материалов, развитием дифференциальной геометрии и бурным ростом численных методов расчета возникла возможность создавать архитектурные шедевры из оболочек канонических и неканонических форм, которые становятся визитной карточкой города или страны. Эта проявляющаяся тенденция у молодых российских и зарубежных специалистов внушает оптимизм ученым, чьи исследования связаны с тонкостенными оболочками. В статье рассмотрены некоторые итоги работы департамента строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов по привлечению студентов к архитектурному проектированию и вовлечению магистрантов в научные исследования по архитектуре, теории расчета тонкостенных пространственных конструкций и их применению в строительстве и архитектуре. Приводятся публикации студентов по рассматриваемому направлению.

**Ключевые слова:** оболочка, архитектура оболочек, концептуальное архитектурное проектирование, оптимальная оболочка вращения, аналитическая геометрия, аналитические поверхности, формообразование поверхностей, учебный процесс в магистратуре

#### Для цитирования

Мамиева И.А. Большепролетные структуры в дипломных проектах студентов РУДН // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. Т. 16. № 3. С. 233–240. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-3-233-240>

### Введение

Купола, своды и навесы впервые были сконструированы еще в Средние века и получили распространение по всему миру, но важные инженерные решения, уточненные результаты расчета и методики возведения тонких большепролетных оболочек появились в период с 1920 по 1963 г. В то время у ученых не было сомнений, что эти конструкции найдут широкое применение в будущем. Конические, цилиндрические поверхности, поверхности

вращения и переноса обычно называют каноническими поверхностями. Оболочки, очерченные по другим поверхностям, называют оболочками неканонической формы. В 1960-е гг. заведующий кафедрой сопротивления материалов УДН имени П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор В.Г. Рекач создал научную школу по расчету тонких оболочек неканонической формы, которая актуальна и в настоящее время в департаменте строительства Инженерной академии РУДН [1].

Однако после 1963 г. вопросы применения тонкостенных большепролетных оболочек стали ставиться под сомнение. Тем не менее с появлением уточненных методов расчета оболочек, а также новых строительных материалов, с развитием дифференциальной геометрии и численных методов расчета

Мамиева Ираида Ахсарбеговна, ассистент, департамент строительства, Инженерная академия; eLIBRARY SPIN-код: 3632-0177.

© Мамиева И.А., 2020



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

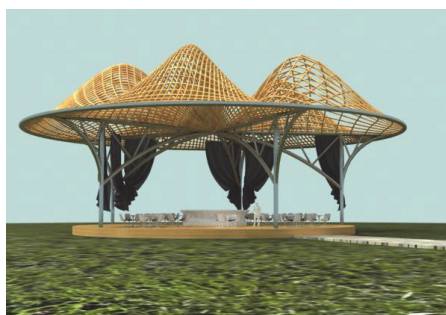
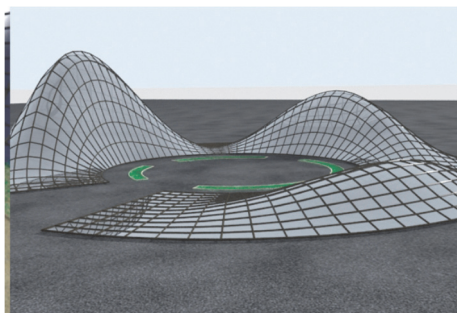
интерес к применению оболочек в архитектуре и строительстве в XXI в. стал увеличиваться. Кафедра прочности материалов и конструкций РУДН никогда не прекращала исследований в этой области [2].

Все больше студентов стали интересоваться вопросами использования оболочечных конструкций и сооружений в своих дипломных проектах, поэтому было решено создать магистратуру по подготовке специалистов по архитектуре, геометрии и расчету большепролетных пространственных структур и оболочек [3]. В помощь магистрантам сотрудниками, преподавателями и профессорами департамента строительства РУДН были подготовлены монографии, учебники и обзорные статьи, например [4–6].

Рассмотрим некоторые итоги работы департамента строительства РУДН по привлечению студентов в архитектурное проектирование и вовлечению магистрантов в научные исследования по архитектуре, теории расчета тонкостенных пространственных конструкций и их применению в строительстве и архитектуре.

### 1. Параметрическая архитектура

Параметрическая архитектура – новый стиль в архитектуре, основанный на аналитических методах задания поверхностей, математическом и компьютерном моделировании. Этот стиль сформировался в начале XXI в. Самыми известными архитекторами, работавшими в этом стиле, считаются Заха Хадид и Патрик Шумахер.



**Рис. 1.** Параметрическая архитектура: фрагменты дипломных диссертаций магистрантов-архитекторов  
[Figure 1. Parametrical architecture: fragments of diploma papers of Master's Degree students in Architecture]

Это направление пользуется большой популярностью среди магистрантов-архитекторов. Ими был опубликован ряд научных статей [7; 8] и защищено несколько магистерских диссертаций (рис. 1). Для расширения кругозора студентов преподаватели департамента также были вовлечены в исследования по этой тематике [9].

### 2. Бионическая архитектура

«Архитектурная бионика – новое явление в архитектурной науке и практике, изучает законы формирования и структурообразования живых тканей, занимается анализом конструктивных систем живых организмов по принципу экономии материала, энергии и обеспечения надежности» [5].



**Рис. 2.** Бионическая архитектура: пример из дипломной диссертации магистранта-архитектора «Участок жилого района в Бресте» [8]  
[Figure 2. Bionic architecture: an example from a diploma paper of Master's Degree student in Architecture "Fragment of residential district in Brest" [8]]

Это архитектурное направление воплощено во многих зданиях и сооружениях мира, поэтому молодые магистранты, имея наглядные примеры, стараются применять методы бионической архитектуры в своих проектах (рис. 2) и представляют свои разработки на научных конференциях [10; 11]. Учитывая это, преподаватели департамента помогают им, публикуя свои результаты исследований [12].

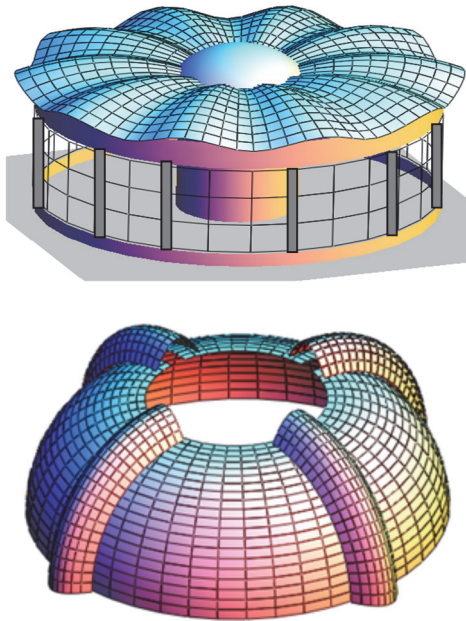
### 3. Тонкостенные большепролетные структуры неканонической формы

В департаменте строительства работают несколько преподавателей – представителей научной школы по расчету тонких оболочек неканонической формы, поэтому студенты, еще обучаясь в бакалавриате Инженерной академии РУДН, выбирают тему исследований по своему желанию.

#### 3.1. Циклические оболочки

Доктор технических наук, профессор В.Н. Иванов является известным специалистом по геометрии и статическому расчету циклических оболочек [13], то есть оболочек, срединные поверхности которых образуются движением в простран-

стве окружности постоянного или переменного радиуса. Магистерские диссертации, выполненные под его руководством, отличаются оригинальностью и практической направленностью (рис. 3) [14; 15].



**Рис. 3.** Циклические оболочки: примеры из дипломных диссертаций магистрантов-строителей [Figure 3. Cyclic shells: examples from diploma papers of Master's Degree students in Civil Engineering]

### 3.2. Поверхность Монжа

Резную поверхность Монжа можно построить кинематическим методом качения без скольжения плоскости с плоской линией по развертывающейся поверхности. Простейшим примером поверхности Монжа служит поверхность вращения, которую можно рассматривать как вырожденную поверхность Монжа. Под руководством В.Н. Иванова студенты исследуют эти кинематические поверхности Монжа [16] и пытаются найти им применение в архитектуре. В дальнейшем некоторые студенты продолжают исследования в аспирантуре, развивая результаты, полученные их руководителем [17].

### 3.3. Винтовые и спиральные оболочки

Оболочки в форме винтовых и спиральных поверхностей исследуются доктором технических наук, профессором С.Н. Кривошапко [18] и его учениками [19; 20], которые также работают в Инженерной академии РУДН, поэтому магистранты имеют большой выбор тем по исследованию тонких оболочек в форме винтовых и спиральных поверхностей (рис. 4). Свои результаты студенты докладывали на научно-технических конференциях и публиковали в научных статьях [21; 22].



**Рис. 4.** Модели линейчатых винтовых поверхностей [Figure 4. Models of ruled helical surfaces]

### 3.4. Топографические поверхности

Задание поверхностей аналитическими формулами или численными отметками может использоваться не только в архитектуре и строительстве, но и в маркшейдерском деле [23]. Некоторых студентов, обучающихся в специалитете «Маркшейдерское дело», заинтересовывают способы построения топографических и непрерывно-топографических поверхностей при помощи компьютерного моделирования [24] или аппроксимация рельефа известными аналитическими топографическими поверхностями.

### 3.5. Торсовые оболочки

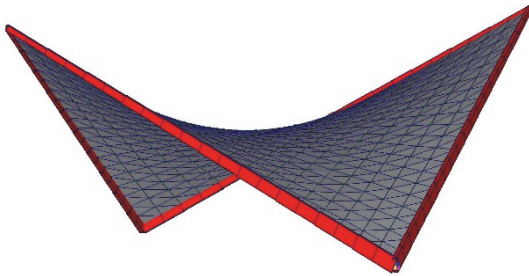
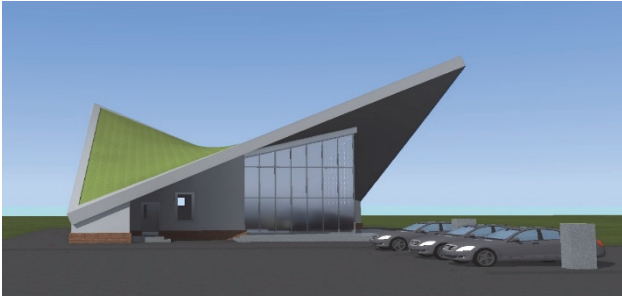
Проблемами статического расчета торсовых оболочек в РУДН стали заниматься под руководством профессора В.Г. Рекача в 1964 г. [2]. Были защищены шесть кандидатских и одна докторская диссертации. Линейчатые срединные поверхности этих оболочек могут быть развернуты на плоскость без разрывов и складок [4; 25]. Торсовые изделия, полученные параболическим изгибанием тонкого металлического листа, нашли применение в судостроении и машиностроении. Однако примеров реального применения этих оболочек в строительстве и архитектуре не обнаружено. Учитывая полезные свойства торсовых поверхностей, молодые исследователи предлагают свои рекомендации по созданию торсовых строительных конструкций и их расчету [26].

## 4. Тонкостенные большепролетные структуры канонической формы

Не утратили своей актуальности и оболочки канонических форм. Система цилиндрических форм, или группа фрагментов сферической формы, или установленные определенным образом конические оболочки создают очень выразительные архитектурные образы, которые можно увидеть в реальных сооружениях. Они стали визитными карточками соответствующих городов и стран, поэтому молодежь не теряет к ним интерес.



**Гипары** благодаря своим методикам формообразования, архитектурной выразительности и хорошо разработанным методам расчета будут всегда использоваться инженерами и архитекторами. Ежегодно магистры Инженерной академии РУДН выбирают в качестве основы своей диссертации гиперболические параболоиды (рис. 5) или планируют их использовать в своих дальнейших разработках [27].



**Рис. 5.** Гипар: пример из дипломной диссертации магистранта-строителя (эскиз и расчетная схема для МКЭ)  
[Figure 5. Hupar: an example from a diploma paper of Master's Degree student in Civil Engineering (a draft and a calculated diagram for FEM)]

### 5. Оптимальные оболочки вращения

Сравнительно недавно в департаменте строительства Инженерной академии РУДН стали работать над поиском оптимальных оболочек вращения в зависимости от приложенной внешней нагрузки [28; 29]. Студенты заинтересовались этой тематикой и принимают участие в ее разработке [30].

### 6. Материалы для тонкостенных большепролетных структур

Вначале проектирования тонкостенного объекта обязательно встанет вопрос о выборе его формы и материала для строительства. Несмотря на огромный ассортимент новых строительных материалов, студенты в основном предпочитают металл, бетон, дерево и реже композиты или полимерные материалы.

В помощь студентам преподавателями был подготовлен ряд обзорных статей по зданиям, сооружениям и конструкциям, выполненным из наибо-

лее используемых строительных материалов [31; 32]. Некоторые обзоры были составлены студентами [33–35].

### 7. Выводы

Создание магистратуры по направлению «Строительство», специализация «Архитектура, геометрия и расчет большепролетных пространственных структур» и по направлению «Архитектура», специализация «Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности» в Инженерной академии РУДН обусловлено сегодняшними тенденциями в развитии современного архитектурного стиля – хай-тека, олицетворяющего «новаторскую архитектуру» и претендующего на доминирование в XXI в.



**Рис. 6.** Студенты-архитекторы инженерного факультета РУДН на Международной научной студенческой конференции, 2013 г., Киев, Украина  
[Figure 6. Students-architects of the Engineering Department of RUDN University at the International scientific student conference, 2013, Kiev, Ukraine]



**Рис. 7.** Аспиранты и студенты РУДН. ВВЦ, IX Всероссийская выставка НТТМ-2009, Москва  
[Figure 7. Postgraduates and students of RUDN University. VDNH, IX all-Russian exhibition NTTM-2009, Moscow]

Отраслевой журнал «Строительство» в № 3 за 2016 г. отмечает, что «строительным компаниям, архитектурным бюро и проектным НИИ впору приоткрыться к студентам магистратуры. Это штучные специалисты, получающие уникальное образование практически в индивидуальном порядке». Магистранты с увлечением работают над проблемой внедрения оболочек в своих странах и городах. Студентка Мария Салех завоевала первое место в конкурсе молодых ученых РУДН с проектом «Применение конструкций сетчатых оболочек в формообразовании прогрессивной архитектуры» [8]. Е. Тупикова предложила вариант спортивно-развлекательного комплекса с тремя инновационными оболочками в форме велароидальной поверхности и двух зонтичных и стала победителем в конкурсе УМНИК-МФТИ. Группой студентов разработан проект оригинальной консольной автомобильной дороги к частному домовладению в Московской области. Можно привести еще десятки оригинальных решений в области архитектуры и строительства, предложенных магистрантами. Они с удовольствием участвуют в международных студенческих научных конференциях (рис. 6) и различных конкурсах (рис. 7).

### Заключение

Опыт работы двух магистратур архитектурно-строительной направленности показывает, что тематика, связанная с проектированием и расчетом на прочность и устойчивость оболочечных большепролетных структур, вызывает большой интерес у молодых российских и зарубежных специалистов, что внушает оптимизм ученым, чьи исследования связаны с тонкостенными оболочками, и надежду на возрождение запроса на создание этих структур [36; 37]. Автор полностью согласен с мнением профессора А.Л. Хейфеца и соавт. [36], что «создание форм на основе аналитических поверхностей является сравнительно новым актуальным направлением в концептуальном архитектурном проектировании. Требуется дальнейшая научная и методическая проработка нового направления применительно к практике проектирования и учебному процессу».

### Список литературы

1. Мамиева И.А. Научные школы инженерного факультета Российского университета дружбы народов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 4. С. 3–8.
2. Мамиева И.А. Вклад кафедры прочности материалов и конструкций РУДН в развитие архитектуры и теории расчета тонкостенных пространственных кон-

струкций // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 4. С. 81.

3. Мамиева И.А. О подготовке специалистов по архитектуре, геометрии и расчету большепролетных пространственных структур и оболочек // Строительство и реконструкция. 2016. № 5 (67). С. 114–118.

4. Иванов В.Н., Кривошапко С.Н. Аналитические методы расчета оболочек неканонической формы: монография. М.: РУДН, 2010. 542 с.

5. Кривошапко С.Н., Галишикова В.В. Архитектурно-строительные конструкции: учебник. М.: Юрайт, 2015. 476 с.

6. Гринько Е.А. Обзорные работы по геометрии, прочности, устойчивости, динамике и применению оболочек со срединными поверхностями различных классов // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2012. № 2. С. 15–21.

7. Rynkovskaya M.I., Simo D. Cylindrical surfaces for social significant architectural projects in Cameroon // moNGeometrija 2012: Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Scientific Conference (Serbia, Novi Sad, June 21<sup>st</sup>–24<sup>th</sup> 2012). Novi Sad, 2012. Pp. 487–498.

8. Салех М.С. Применение современных методов автоматизированного проектирования для формообразования и расчета сооружений прогрессивной архитектуры // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 6. С. 8–13.

9. Мамиева И.А., Разин А.Д. Параметрическая архитектура в Москве // Архитектура и строительство России. 2014. № 6. С. 24–29.

10. Казарян А.А. Геометрическое описание бионических форм в архитектуре // Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності: матеріали ІІ-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Вип. 2. К.: ДІЯ, 2013. С. 82–84.

11. Салех М.С. Бионика и геометрическое формообразование в архитектуре Сантьяго Калатравы // Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций: труды Международной молодежной научной конференции (Москва, 18–21 ноября 2014 г.). М.: РУДН, 2014. С. 288–292.

12. Вирченко Г.А., Шамбина С.Л. Компьютерное вариантное моделирование поверхностей бионических архитектурных форм // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2016. № 3. С. 79–83.

13. Иванов В.Н. Циклические поверхности: геометрия, классификация, конструирование оболочек // Архитектура оболочек и прочностной расчет тонкостенных строительных и машиностроительных конструкций сложной формы. М.: Изд-во РУДН, 2001. С. 126–134.

14. Губина Е.Н. О формообразовании основных циклических поверхностей // Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций: труды Международной молодежной научной конференции (Москва, 18–21 ноября 2014 г.). М.: РУДН, 2014. С. 320–324.

15. Иванов В.Н., Шмелева А.А. Геометрия и формообразование тонкостенных пространственных конструкций

на основе нормальных циклических поверхностей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 6. С. 3–8.

16. Гафурова Ю.Ф., Филипова Е.Р. Поверхность Монжа как решение объемно-планировочной композиции галереи // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы IX Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (18–19 апреля 2014 г., Йошкар-Ола). Йошкар-Ола, 2014. С. 163–165.

17. Ivanov V.N., Muxammad R. Geometry of carved Monge surface and shell structuring // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2002. Т. 1. С. 27.

18. Krivoschapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells // Applied Mechanics Reviews. May 1999. Vol. 52. No. 5. Pp. 161–175.

19. Рынковская М.И. Применение и расчет геликоидальных оболочек в архитектуре и строительстве // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2012. № 4. С. 84–90.

20. Туникова Е.М. Полуаналитический расчет оболочки в форме длинного пологого косоугольного геликоида в неортогональной несопряженной системе координат по моментной теории // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 3. С. 3–8.

21. Гришина А.А. О линейчатых винтовых поверхностях // Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций: труды Международной молодежной научной конференции (Москва, 18–21 ноября 2014 г.). М.: Изд-во РУДН, 2014. С. 316–319.

22. Тица Л., Драгович М., Килибарда Л., Милошевич М. Спиральные структуры в современной архитектуре // Современные проблемы механики, энергоэффективность сооружений и ресурсосберегающие технологии: сб. тр. научной школы-семинара молодых ученых и студентов с международным участием (Москва, РУДН, 15–17 сентября 2015 г.). М.: РУДН, 2015. С. 185–188.

23. Акили М.Д.М., Гринько Е.А. Применение топографических и непрерывно-топографических поверхностей в маркшейдерском деле // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы IX Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (18–19 апреля 2014 г., Йошкар-Ола). Йошкар-Ола, 2014. С. 133–135.

24. Акили М.Д.М. Математическое моделирование топографических и непрерывно-топографических поверхностей // Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций: труды Международной молодежной научной конференции (Москва, 18–21 ноября 2014 г.). М.: РУДН, 2014. С. 330–334.

25. Krivoshapko S.N. Static analysis of shells with developable middle surfaces // Applied Mechanics Reviews. December 1998. Vol. 51. No. 12. Part 1. Pp. 731–746.

26. Алешина О.О. Исследования по геометрии и расчету торсовых оболочек одинакового ската // Строительная механика и расчет сооружений. 2019. № 3. С. 63–70.

27. Якимчук Е.В. Использование поверхности гиперболического параболоида в архитектуре // Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності: матеріали П-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Вип. 2. Київ: ДІА, 2013. С. 209–213.

28. Krivoshapko S.N. Optimal shells of revolution and main optimizations // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 3. С. 201–209.

29. Кривошапко С.Н. Оболочки вращения неканонических форм // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 7 (715). С. 66–79.

30. Борзенкова Ю.В., Черникова В.В. Выбор оптимальной поверхности вращения // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 4. С. 15–18.

31. Krivoshapko S.N., Bock Hyeng C.A., Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells // International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences. 2014. Vol. 18. Issue 2. Pp. 95–108.

32. Krivoshapko S.N. The perspectives of application of thin-walled plastic and composite polymer shells in civil and industrial architecture // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2018. Vol. 37. Issue 4. Pp. 217–229. DOI: 10.1177/0731684417740770.

33. Комарова И.А. Применение металлических конструкций в 2002–2014 годах // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы IX Международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (18–19 апреля 2014 г., Йошкар-Ола). Йошкар-Ола, 2014. С. 174–175.

34. Адегоке Муритала Адедано. Advanced materials and technologies for energy efficient buildings // Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций: труды Международной молодежной научной конференции (Москва, 18–21 ноября 2014 г.). М.: РУДН, 2014. С. 198–204.

35. Пономарева А.А. Многообразие пространственных сетчатых конструкций из клееной древесины // Прикладна геометрія, дизайн та об'єкти інтелектуальної власності: матеріали П-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Вип. 2. Київ: ДІА, 2013. С. 244–246.

36. Хейфец А.Л., Саморуков А.В., Буторина И.В. О возможности архитектурного проектирования на основе аналитических поверхностей // Наука ЮУрГУ. Секция технических наук: материалы 63-й науч. конф. / отв. за вып. С.Д. Ваулин; Юж.-Урал. гос. ун-т. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. Т. 1. С. 187–190.

37. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., Tripeny P. Special structures. Past, present, and future // Journal of Structural Engineering. June 2002. Vol. 128. Issue 6. Pp. 691–701.

# Large-span structures in diploma projects of students architects of RUDN University

**Iraida A. Mamieva**

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation  
i\_mamieva@mail.ru

## Article history:

Received: January 22, 2020

Revised: March 05, 2020

Accepted: April 14, 2020

## Abstract

At present, there is a renewed interest in the design and application of wall structures in architecture and construction. With the advent of modern computers, refined methods for calculating shells, new building materials, the development of differential geometry and the rapid growth of numerical methods of calculation, it became possible to create architectural masterpieces from shells of canonical and non-canonical forms, which can be the hallmark of a city or country. This emerging trend among young Russian and foreign specialists inspires optimism among scientists who are researching thin-walled shells. The article considers some results of the work of the Department of Civil Engineering of the Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia on attracting students to architectural design and involving undergraduates in researches on architecture, the theory of thin-walled spatial structures and their application in construction and architecture. The publications of students in this field are presented.

**Keywords:** shell, shell architecture, conceptual architectural design, optimal rotation shell, analytical geometry, analytical surfaces, surface shaping, educational process in the master's program

## For citation

Mamieva I.A. Large-span structures in diploma projects of students architects of RUDN University. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020; 16(3):233–240. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-3-233-240> (In Russ.)

## References

1. Mamieva I.A. Scientific schools of engineering faculty of Peoples' Friendship University of Russia. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2009; (4):3–8. (In Russ.)
2. Mamieva I.A. Contribution of chair of strength of materials and structures of RUDN in development of architecture and theory of analysis of thin-walled space structures. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2011;(4):81–81. (In Russ.)
3. Mamieva I.A. On teaching of specialists in architecture, geometry, and strength analysis of large-span space structures and shells. *Building and Reconstruction*. 2016;5(67): 114–118. (In Russ.)
4. Ivanov V.N., Krivoschapko S.N. *Analytical Methods of Analysis of Shells of Non-Canonical form: Monograph*. Moscow: RUDN University Publ.; 2010. (In Russ.)
5. Krivoschapko S.N., Galishnikova V.V. *Architectural-and-Building Structures*. Moscow: YuRAIT Publ.; 2015. (In Russ.)
6. Grinko E.A. Survey works on geometry, durability, stability, dynamics, and application of environments with middle surfaces of various classes. *Mont. i spetz. raboty v stroitelstve*. 2012;(2):15–21. (In Russ.)
7. Rynkovskaya M.I., Simo D. Cylindrical surfaces for social significant architectural projects in Cameroon. *moNGeometrija 2012: Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Scientific Conference (Serbia, Novi Sad, June 21<sup>st</sup>–24<sup>th</sup> 2012)* (p. 487–498). Novi Sad; 2012.
8. Salekh M.S. Application of modern techniques aided design for forming and calculation of erections of pro-

gressive architecture. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2016;(6):8–13. (In Russ.)

9. Mamieva I.A., Razin A.D. Parametricheskaya arkhitektura v Moskve [Parametrical architecture in Moscow]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii [Architecture and Construction of Russia]*. 2014;(6):24–29. (In Russ.)

10. Kazaryan A.A. Geometric description of bionic forms in architecture. *Prikladna geometriya, dizayn ta ob'ekti intelektual'noy vlasnosti: Materiali II-oy Mizhnarodnoy naukovopraktichnoy konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodikh vchenikh* (issue 2, p. 82–84). Kiev: DIYa Publ.; 2013.

11. Salekh M.S. Bionic and geometric morphogenesis in architecture of Santiago Calatrava. *Strength, Creep, and Destruction of Building and Mechanical Materials and Structures: Proc. of International Scientific Youth Conference (November 18–21, 2014)* (p. 288–292). Moscow: RUDN University Publ.; 2014. (In Russ.)

12. Virchenko G.A., Shambina S.L. Computer variant surface modeling of bionic architectural forms. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2016;(3):79–83. (In Russ.)

13. Ivanov V.N. Cyclic surfaces: geometry, classification, design of shells. *Shells in Architecture and Strength Analysis of Thin-Walled Civil-Engineering and Machine-Building Constructions of Complex Forms: Proc. Int. Conf. (June 4–8, 2001, Moscow, Russia)* (p. 126–134). Moscow: RUDN University Publ.; 2001. (In Russ.)

14. Gubina E.N. About the formation of the most common cyclic surfaces. *Strength, Creep, and Destruction of Building and Mechanical Materials and Structures: Proc. of International Scientific Youth Conference (November 18–21, 2014)* (p. 320–324). Moscow: RUDN University Publ.; 2014. (In Russ.)

**Iraida A. Mamieva**, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Engineering Academy; eLIBRARY SPIN-code: 2021-6966.

15. Ivanov V.N., Shmeleva A.A. Geometry and formation of the thin-walled space shell structures on the base of normal cyclic surfaces. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2016;(6):3–8. (In Russ.)
16. Gafurova Yu.F., Filipova E.R. A Monge surface for design of gallery. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh [Creative Work of Youths for Scientific Progress]*: Proc. of the IX International Youth Scientific Conference on Natural Scientific and Technical Branches of Science (Yoshkar-Ola, April 18–19, 2014) (p. 163–165). Yoshkar-Ola; 2014. (In Russ.)
17. Ivanov V.N., Muxammad R. Geometry of carved Monge surface and shell structuring. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2002;(1):27.
18. Krivoshapko S.N. Geometry and strength of general helicoidal shells. *Applied Mechanics Reviews*. 1999;52(5): 161–175.
19. Rynkovskaya M. On application and analysis of helicoidal shells in architecture and civil engineering. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2012;(4):84–90. (In Russ.)
20. Tupikova E.M. Semi-analytical analysis of a long shallow oblique helicoidal shell in a non-orthogonal non-conjugate coordinate system. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2016;(3):3–8. (In Russ.)
21. Grishina A.A. On ruled helical surfaces. Strength, Creep, and Destruction of Building and Mechanical Materials and Structures: Proc. of International Scientific Youth Conference (November 18–21, 2014) (p. 316–319). Moscow: RUDN University Publ.; 2014. (In Russ.)
22. Titsa L., Dragovich M., Kilibarda L., Milosevic M. Spiral structures in modern architecture. *Modern problems of mechanics, energy efficiency of equipment and resource-saving technologies: Collection of scientific school-seminar of young scientists and students with international participation (Moscow, RUDN University, September 15–17, 2015)* (p. 185–188). Moscow: RUDN University Publ.; 2015.
23. Akili J., Grinko E.A. The application of topographic and continuously-topographic surfaces in mine surveying practice. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh [Creative Work of Youths for Scientific Progress]*: Proc. of the IX International Youth Scientific Conference on Natural Scientific and Technical Branches of Science (Yoshkar-Ola, April 18–19, 2014) (p. 133–135). Yoshkar-Ola, 2014. (In Russ.)
24. Akili J. Mathematical modelling of topographic and continuously-topographic surfaces. Strength, Creep, and Destruction of Building and Mechanical Materials and Structures: Proc. of International Scientific Youth Conference (November 18–21, 2014) (p. 330–334). Moscow: RUDN Publ.; 2014. (In Russ.)
25. Krivoshapko S.N. Static analysis of shells with developable middle surfaces. *Applied Mechanics Reviews*. 1998; 51(12(1)):731–746.
26. Aleshina O.O. Studies of geometry and calculation of torso shells of an equal slope. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2019;(3):63–70. (In Russ.)
27. Yakimchuk E.V. Using surface of hyperbolic paraboloid in architecture. *Prikladna geometriya, dizayn ta ob'ekti intelektual'noy vlasnosti: materiali II-oy Mizhnarodnoy naukovo-praktichnoy konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodikh vchenikh* (issue 2, p. 209–213). Kiev: DIYa Publ.; 2013. (In Russ.)
28. Krivoshapko S.N. Optimal shells of revolution and main optimizations. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2019;15(3):201–209. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-3-201-209>
29. Krivoshapko S.N. Shells of revolution of non-trivial forms. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2018;7(715):66–79. (In Russ.)
30. Borsenkova Yu.V. Chernikova V.V. Selection of optimal surface of revolution. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh [Creative Work of Youths for Scientific Progress]*. 2018;(4):15–18. (In Russ.)
31. Krivoshapko S.N., Bock Hyeng C.A., Mamieva I.A. Chronology of erection of the earliest reinforced concrete shells. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*. 2014;18(20):95–108.
32. Krivoshapko S.N. The perspectives of application of thin-walled plastic and composite polymer shells in civil and industrial architecture. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2018;37(4):217–229. DOI: 10.1177/0731684417740770.
33. Komarova I.A. The application of metal structures in 2002–2014. *Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh [Creative Work of Youths for Scientific Progress]*: Proc. of the IX International Youth Scientific Conference on Natural Scientific and Technical Branches of Science (Yoshkar-Ola, April 18–19, 2014) (p. 174–175). Yoshkar-Ola; 2014. (In Russ.)
34. Adegoke Muritala Adedapo. Advanced materials and technologies for energy efficient buildings. *Strength, Creep, and Destruction of Building and Mechanical Materials and Structures: Proc. of International Scientific Youth Conference (November 18–21, 2014)* (p. 198–204). Moscow: RUDN University Publ.; 2014. (In Russ.)
35. Ponomareva A.A. Variety of space net structures from glued wood. *Prikladna geometriya, dizayn ta ob'ekti intelektual'noy vlasnosti: materiali II-oy Mizhnarodnoy naukovo-praktichnoy konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodikh vchenikh* (issue 2, p. 244–246). Kiev: DIYa Publ.; 2013. (In Russ.)
36. Khyeifets A.L., Samorukov A.V., Butorina I.V. On opportunity of architectural design on the base of analytical surfaces. *Nauka YuUrGU. Sekzii technicheskikh nauk: Materiali 63-iy nauchn. konf.* (vol. 1, p. 187–190). Chelyabinsk; 2011. (In Russ.)
37. Bradshaw R., Campbell D., Gargari M., Mirmiran A., Tripeny P. Special structures. Past, present, and future. *Journal of Structural Engineering*. 2002;128(6):691–701.