



## Четырехмерная архитектура – метафора или реальность?

И.В. Храмов<sup>1</sup>, П.Н. Григорьев<sup>2</sup>, П.И. Ипатова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Государственный Архитектурно-строительный  
университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>ООО "РеалСтрой"

**Аннотация:** Данная статья знакомит с новым методом создания архитектурных объектов, способных эффективно противостоять техногенным угрозам. Инновационность конструктивных схем основана на уникальной концептуальной двойственности: система может анализироваться как в традиционной трёхмерной парадигме передачи воздействий, так и с помощью принципиально новой четырёхмерной ресурсной модели перераспределения напряжений. Таким образом эта модель обеспечивает активное управление ресурсами и адаптацию конструкции к изменяющимся условиям? Этому вопросу посвящена данная работа.

**Ключевые слова:** трансформация, четырехмерная архитектура, пространственные стержневые конструкции, техногенные угрозы, трансметрический монопараметризм, кручена пространственная балка, пентахорон, четырехмерный симплекс

### Введение

Архитектура, традиционно воспринимаемая как наука об организации пространства, исторически тяготела к статичности как в физическом, так и в концептуальном смысле. Воплощая в себе принципы застывшей гармонии, кристаллической геометрии и монументальности, архитектурные сооружения, даже в рамках таких радикальных направлений как деконструктивизм и параметризм [1], оставались ограничены рамками трехмерного пространства Евклида.

Данная многовековая приверженность трехмерности обусловлена не только материальными ограничениями, но и семиотической функцией архитектуры. Существующие концепции "темперальной" или "четырехмерной" архитектуры [2], акцентирующие внимание на динамических и адаптивных свойствах зданий, следует рассматривать скорее как метафорические конструкции, нежели как реализацию подлинной многомерности. Акцент на адаптивности и трансформации во времени безусловно является важным, однако он не выходит за рамки описания



---

изменений, происходящих с трехмерным объектом в рамках существующей пространственно-временной системы координат [3].

Настоящая работа предлагает принципиально иной подход, основанный на применении аппарата многомерной геометрии для создания архитектурных объектов, выходящих за рамки традиционной трехмерности.

Речь идет не о новых материалах или технологиях, а о принципиально новом способе управления внутренними усилиями в конструкции за счет эксплуатации ранее не задействованного ресурса, в рамках которого происходит новая трансформация и перераспределение напряжений в системе.

В отличие от классических методов, рассматривающих конструкцию как статичный объект, предложенная концепция предполагает такое управление внутренними силами, которое позволит вывести баланс их в конструкции объекта из жестко фиксированной трехмерной схемы и перераспределить его на четырехмерную модель, понимаемую здесь как математическая абстракция, обеспечивающая большую степень свободы в оптимизации напряженно-деформированного состояния системы.

Последнее утверждение определяет некое участие четырехмерной модели как математической абстракции, однако рассматриваемую модель можно уверенно описать и как трехмерную схему, где происходит процесс смены способа передачи воздействий от жестких стержней каркаса к жидкой среде гидросистемы, причем все свойства объекта остаются такими же, как и в четырехмерной модели. И все же некоторые аспекты работы объекта в пограничных условиях достаточно сложно описать классической трехмерной схемой. Ниже: описание, что из себя представляет четырехмерная модель и чем она отличается от классической трехмерной модели.

---



## Суть метода трансметрического монопараметризма. История возникновения метода

Для начала необходимо определить суть метода, а также увидеть актуальность и востребованность объектов, создаваемых на его основе. В данном случае нужно заметить, что данная концепция формирования архитектурного объема не претендует на глобальное лидерство в традиционном архитектурном формообразовании. Однако, ключевые свойства объектов, приобретаемые в рамках этой концепции, позволяют говорить об абсолютной ее актуальности и значимости в свете современных вызовов, связанных с техногенной деятельностью цивилизации и нарастающими природными угрозами.

На сегодняшний день очевидно, что современный мир испытывает острую потребность в решениях, способных эффективно противостоять глобальным технологическим рискам. С уверенностью можно сказать, что предлагаемый подход формирует специфическую форму, созданную как ответ на техногенные угрозы. Мы определяем ее как архитектуру техногенеза – архитектуру, предназначенную для функционирования в пограничных условиях техногенного характера. Именно по этой причине она не стремится к доминированию в общепринятых методах формообразования.

Тем не менее, важно отметить, что новые, более жесткие правила формообразования для иррациональных пространств, заложенные в этой методике помимо заявленных базовых свойств, порождают неожиданно новую эстетику. Этот аспект позволяет утверждать, что у предлагаемого способа формообразования есть потенциал для развития как у самостоятельного направления в рамках архитектуры техногенеза.

Разработанный нашей исследовательской группой метод трансметрического монопараметризма (ТММ; трансметрический монопараметризм: трансметрический – передающий свойства через

размерность; монопараметризм – формирующий форму одним параметром) и основанный на нем способ формирования трансметрической формы, по своей сути, представляет собой мощный инструмент для комплексного решения техногенных задач путем активного управления свойствами объекта в режиме реального времени [4]. Это позволит в дальнейшем решать такие практические задачи при реализации различных проектов как:

1. Высокоэффективное восприятие вибрационных воздействий на несущую конструкцию.
2. Минимизация влияния собственных частот колебаний конструкций.
3. Значительное повышение безопасности и устойчивости сооружений при сейсмическом воздействии.
4. Активное управление жесткостью объекта, мгновенное активное восприятие внешних нагрузок и максимально эффективное их перераспределение в элементах несущей конструкции.

Трансметрический монопараметризм (ТММ) предполагает принципиально иной подход, основанный на строгих математических принципах и детерминированной проекции, что однозначно делает его инновационным. Однако, возникновению метода предшествовали объективные причины, коренящиеся в длительной эволюции инженерной мысли и философии проектирования, которые создали необходимые предпосылки для его появления. Для более лучшего понимания места данной методики в формировании общей визуальной «объектности» исторические предшественники и аналоги метода были разделены на два обширных класса:

1. *Пространственные стержневые конструкции (инженерно-расчетные решения)*

Александр Гюстав Эйфель – Эйфелева башня (1889); Владимир Шухов – сетчатые висячие покрытия ( завод в Выксе, 1897) (рис. 1); гиперболоидные башни, арочные конструкции (ГУМ, Киевский вокзал); Ричард Бакминстер

Фуллер – геодезический купол [5, 6]; Купол «Климатрон» в Сент-Луисе в Миссури, 1960 год (рис. 2); Н. В. Никитин – Останкинская башня (1967). Все вышеперечисленные объекты являются по сути инженерными прототипами, как пространственные структуры [7, 8].



Рис. 1. – Радиомачта системы инженера В.Г. Шухова (Шуховская башня). Москва, 1922 год. Фотография: Архив Российской академии наук, Москва

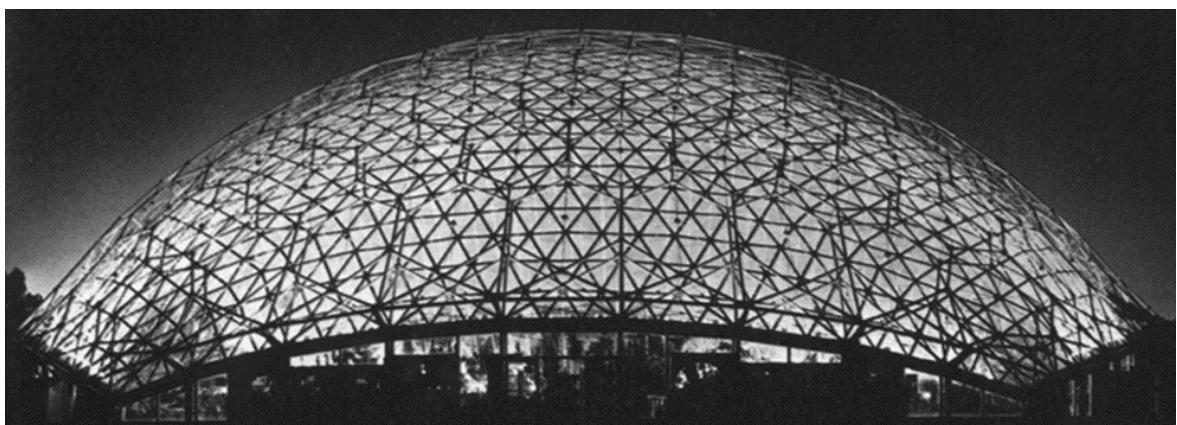


Рис. 2. – Купол «Климатрон» в Сент-Луисе в Миссури, 1960 год [9].

## 2. Авторские художественные интерпретации (символические решения)

Даниэль Либескинд – Еврейский музей в Берлине (рис. 3), Кристалл Майкла Ли-Чина, Денверский художественный музей; Соор Himmelb(l)au – Кинотеатр UFA-Palast в Дрездене; Фрэнк Гери – Музей Гуггенхайма в Бильбао, Центр здоровья мозга Лу Руво; Питер Айзенман – Дом VI. Эти объекты являются больше прототипами иррациональности формы.

Особое место занимает творчество Ричарда Бакминстера Фуллера с его идеями архитектуры тенсегрити и геодезическими куполами, которые являются наиболее близким инженерным аналогом [10, 11].

Отдельно следует отметить параметризм (Заха Хадид, Патрик Шумахер), который концептуально близок идее использования параметра (рис. 4) [12].



Рис. 3. – Даниэль Либескинд: Еврейский музей в Берлине  
Фото: Jens Ziehe/Photographie



Рис. 4. – Заха Хадид. Здание для пожарной части в Вайле-на-Рейне.  
Фото: Christian Richters

Однако ключевое отличие трансметрического монопараметризма (ТММ) от метода параметризма заключается в использовании единственного формообразующего инварианта (тетраэдра) для детерминированного управления свойствами объекта, а не множества параметров для создания сложной формы .

Таким образом, даже наиболее передовые из рассмотренных концепций ограничены решением задач трёхмерного пространства. Концепция ТММ же, ориентированная так или иначе на использование свойств высших размерностей для создания адаптивных структур, функционирующих в экстремальных техногенных условиях, практически не имеет аналогов в истории архитектурной науки. Причем объекты, созданные методом ТММ, могут быть описаны как абсолютно трехмерные формы со смешанной формой передачи воздействий в структуре, так и как гипотетические четырехмерные формы, где передача воздействий ориентирована на последние расчетные методики передачи энергии в жидких средах. На рисунке 5 (рис. 5) видны как конструктивная инженерная схема, так и иррациональная пластика объекта.

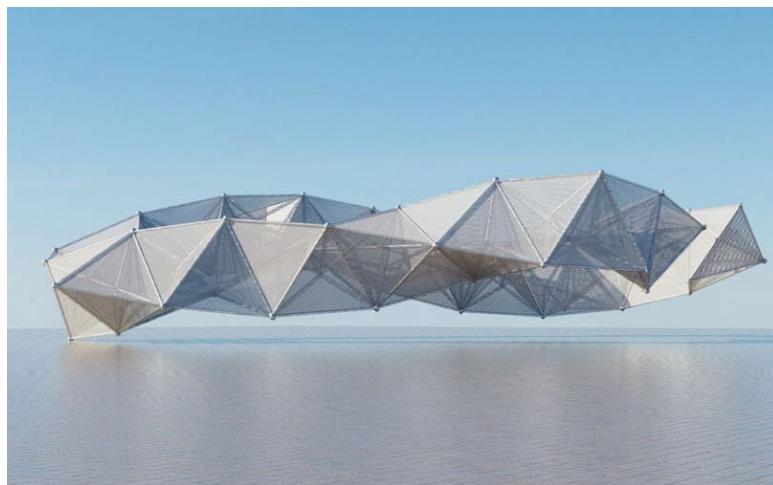


Рис. 5. – Один из пластических видов объектов, созданный методом ТММ



## Основные принципы работы метода трансметрического монопараметризма

Рассмотрим ряд принципов формирования объектов методом трансметрического монопараметризма (ТММ), их работу и способность образования нужных свойств объекта. Стоит подчеркнуть: исключительно совместная работа этих принципов создаёт основу для проектирования архитектурных форм с беспрецедентными показателями адаптивности, устойчивости и структурной эффективности, формируя новый класс архитектурных объектов.

- *Принцип четырёхмерной проекционной детерминированности*

Геометрия и локация всех ключевых узлов трёхмерной конструкции является строгой детерминированной проекцией (в частности, тенью или сечением) соответствующей многомерной формы-оригинала (например, четырёхмерного симплекса — пентохорона).

- *Принцип трансформации природы усилий*

В зонах проекции ключевых узлов способ передачи механических усилий фундаментально меняется. Классические виды внутренних напряжений — растяжение, сжатие, сдвиг и изгиб — трансформируются в управляемое барицентрическое давление.

- *Принцип триангуляционной чистоты формообразования*

Единственным допустимым и исчерпывающим методом генерации трёхмерной формы объекта является триангуляция минималистичного и идеально симметричного модуля — равностороннего тетраэдра. Этот процесс исключает создание избыточной геометрической информации, обеспечивая максимальную эффективность.

В целом можно описать способ формообразования подобным методом как определенную триангуляцию (способ соединения) модуля, наделенного системой, с изменяющимися параметрами напряжения.

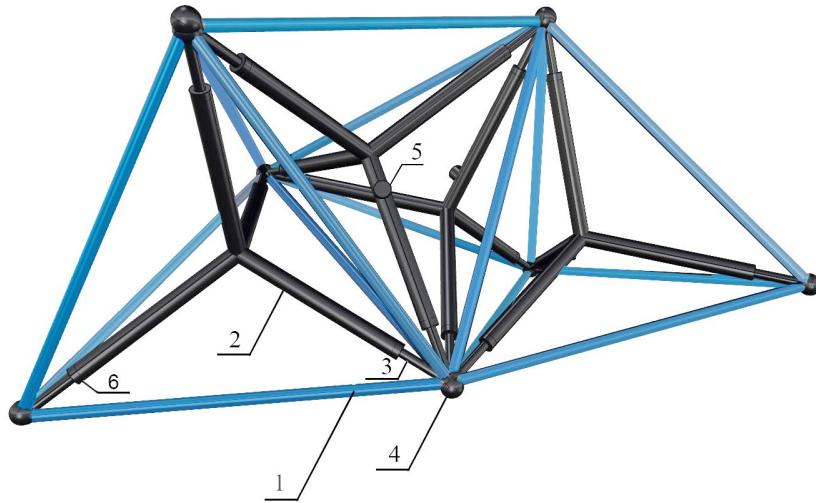


Рис. 6. – Пространственный код образования форм методом ТММ

На рисунке 6 хорошо виден пространственный код образования форм методом ТММ (рис. 6), также на рисунке 6: 1 – стержни-ребра тетраэдра; 2 – стержни-медианы (общая рабочая камера в виде 4 полых емкостей); 3 – стержни-медианы (штоки гидросистемы); 4 – шарнир системы; 5 – механизм для управления давлением (нагнетатель давления).

Пространственный код формообразования транслирует все 3 принципа:

1. Пересечение медиан модуля, является проекцией четырехмерного симплекса.
2. Гидросистема трансформирует способ передачи воздействий в стержневых системах.
3. Триангуляция модуля таким образом, что стержни-ребра одного модуля являются стержнями ребрами другого модуля. Это единственный способ формирования макроформы.

На рисунке 7 показана одна из возможных форм, созданных методом ТММ – крученая пространственная балка (рис. 7). Так как диэдральный угол равностороннего тетраэдра составляет  $\arccos(1/3)$ , что приблизительно составляет 70,53 градуса, конструкция с таким

соединением тетраэдров не имеет параллельных поясов, на вид абсолютно биоморфна и представляет собой пространственную конструкцию в виде крученої балки.

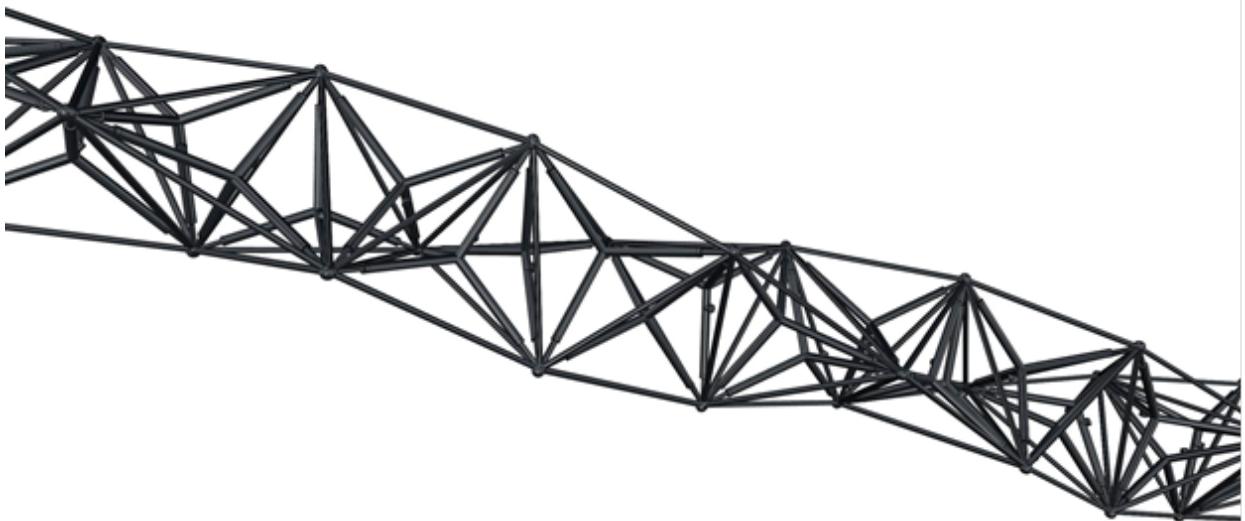


Рис. 7. – Биоморфная крученої пространственная балка

### Трехмерная форма или четырехмерная модель?

К определению четырехмерной модели более всего тяготеет 1 и 2 принцип. Именно здесь рассматриваются некие параметры, которые можно интерпретировать как четырехмерные. Рассмотрим их подробнее.

#### *Принцип 1. Четырёхмерная проекционная детерминированность*

Если рассматривать схему модуля равностороннего тетраэдра с медианами и интерпретировать ее как проекцию четырехмерного симплекса на трехмерный правильный тетраэдр трехмерного пространства, то точка пересечения медиан правильного тетраэдра (центроид) – это проекция центроида четырехмерного симплекса и его пятой вершины (рис. 6). Причем сами медианы правильного тетраэдра тоже являются проекциями как медиан идущих к центроиду четырехмерного симплекса, так и ребер, идущих от вершин правильного тетраэдра к пятой вершине четырехмерного симплекса. Таким образом, формируется модель, где центральная часть, медианы и

---

центроид строго детерминированы как проекции структуры высшей размерности. Такая схема в действительности является геометрической моделью, удобной для описания специфики работы тетраэдра.

### *Принцип 2. Трансформация природы усилий*

В зонах проекции ключевых узлов способ передачи и перераспределения физико-механических внутренних усилий в основной конструкции фундаментально меняется. Классические виды внутренних напряжений — растяжение, сжатие, сдвиг и изгиб — трансформируются в управляемое барицентрическое давление (рис. 6).

Для более точного понимания принципа рассматривается работа модуля (тетраэдра с медианами) как работа жесткой стержневой системы.

Условно примем направление воздействия на тетраэдр по всем вершинам в качестве вектора извне в направлении к центру по линии медиан. Тогда со всех вершин данные воздействия будут собираться в центроиде, сжимая стержни медиан. Кроме того, стержни ребер тетраэдра при такой модели нагрузки также будут сжиматься. Увеличивая воздействие на модуль подобным образом достигается точка, когда конструкция тетраэдра с медианами теряет геометрическую устойчивость и начинает критически деформироваться и разрушаться. При этом в общей схеме жесткости модуля (как и в схеме потери несущей способности) медианы играют главную роль, а ребра тетраэдра — второстепенную. Так условно выглядит работа модуля как жесткой стержневой пространственной системы.

Если в систему медиан поставить гидросистему в виде общей рабочей камеры со штоками, ориентированными в вершины тетраэдра (рис. 6), то образуется иная картина работы модуля в целом. При нагнетании давления в гидросистему штоки с одинаковыми усилиями будут равномерно раздвигать каркас тетраэдра, делая его ребра предварительно растянутыми в области упругой деформации. Допуская равномерное воздействие извне на все

---

---

вершины тетраэдра, а также упругость предварительно растянутых стержней, суммарные воздействия будут стремится «сжать» каркас тетраэдра обратно, сажая всю конструкция в буквальном смысле на гидроподушку и демпфируя ее. Кроме того, возможно увеличение несущей способности каркаса, т.к. при увеличении воздействия извне, изначально усилия будут компенсироваться предварительным напряжением с обратным знаком и только потом оставшаяся часть усилий будет воспринята несущим элементом. Очевидно, что возможное значение восприятия абсолютной величины воздействия во втором случае будет отличаться в большую сторону, чем в первом.

Все подобные изменения в силовой схеме модуля возможны лишь благодаря изменению характера передачи воздействия. В первом случае в жесткой структуре вектор воздействия передается строго в направлении ориентации стержня. Во втором случае мы наблюдаем равномерное перераспределение внутренних усилий и увеличение общей жесткости (несущей способности) за счет ресурса вторичных элементов (ребер тетраэдров), «закон Паскаля». Последнее утверждение позволяет сделать выводы о возможности максимального использования мгновенного активного восприятия и перераспределения внутренних усилий в системе. В целом, можно остановиться и на трехмерной схеме, но «применение гидросистемы в пространственной стержневой трехмерной структуре позволяет демпфировать систему, более равномерно перераспределять усилия в ней и сгладить напряжения в узлах».

Законы гидростатики и гидродинамики очень точно определяют перенос энергии в жидкости из точки А в точку В. Однако если мы рассмотрим первый принцип метода ТММ и добавим к геометрической четырехмерной модели симплекса физическую модель переноса воздействия в жидкости по масштабу, внутрь или во вне, то в этом случае необходимо принять модель воздействия среды ориентированной определенным образом

---

---

на геометрическую модель четырехмерного симплекса, а значит принять тот факт, что воздействие распространяется на пятую вершину пентахорона и на центроид четырехмерного симплекса. Это, в свою очередь, значит, что их следует учитывать в схеме перераспределения усилий. Таким образом, последовательная логика в данном случае привела к определению четырехмерной работы модуля.

Если говорить о переносе воздействия в среде по масштабу, необходимо заметить, что в настоящее время подобные методики, существуют:

1. **Конвекция** (крупномасштабный, организованный перенос)
2. **Турбулентный перенос** (перенос за счет вихрей разного масштаба)
3. **Теплопроводность** (молекулярный, микроскопический перенос)
4. **Излучение** (перенос электромагнитными волнами, не требующий среды)

Метод трансметрического монопараметризма (ТММ) на данный момент будет проходить стадию НИОКРа. В процессе апробации опытных образцов пространственных конструкций группой будут поставлены эксперименты, подтверждающие или исключающие передачу воздействия через размерность (рис. 8).

На рисунке 9 (рис. 9): стадии образования трансметрической формы. 1 – геометрическая модель; 2 – рабочая схема каркаса; 3 – объемная модель трансметрической формы; 4 – совместная работа трансметрической формы и классической концепции параллельных поясов.

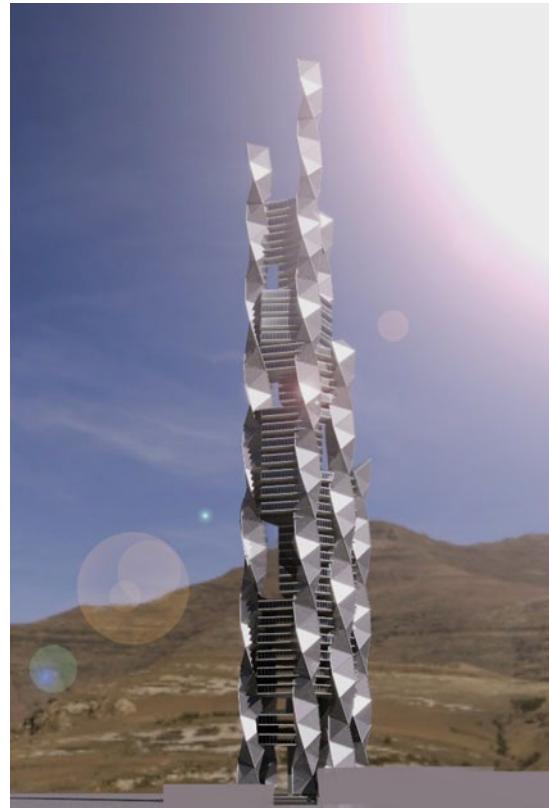


Рис. 8. – Возможное применение биоморфной крученої пространственной балки в высотном домостроении

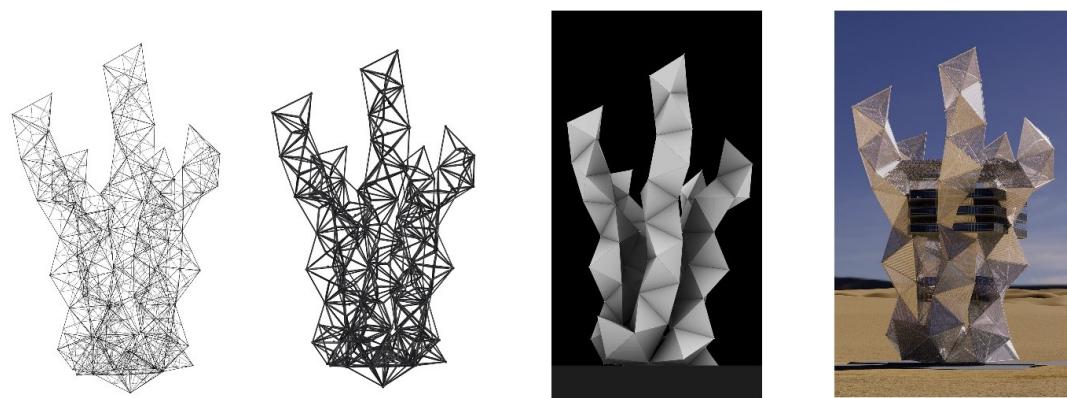


Рис. 9. – Стадии образования трансметрической формы

## Вывод

Как было показано выше, трехмерная схема с изменением способа передачи воздействия в системе медиан наглядно работает, однако

четырехмерная модель, пока теоретически, позволяет системе вести себя более стабильно в пограничных условиях (сложение вибраций, ротор векторов с изменяемыми направлениями и т.д.), где разрушающие напряжения в конструкции даже при полной балансировке невозможно будет убрать.

Таким образом, уже на теоретическом уровне ясно, что четырехмерная архитектура перестает быть метафорой и заявляет о себе как о новой инженерно-архитектурной реальности, способной изменить парадигму архитектурной формы в прямом и переносном смысле.

### Литература

1. Добрицына И. Концепции биоморфизма и параметризма в современной архитектуре: проблемы и перспективы. Academia. Архитектура и строительство, 2019, (3), сс. 51–57.
2. Пименова Е.В., Демидова Л.М. Динамическая архитектура: трансформация фасадов общественных зданий // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4081/.
3. Возможности адаптивной архитектуры. Информационно-аналитический журнал. ООО «Издательство «Зодчий». Санкт-Петербург, 2023. Сс. 18–22.
4. *П.И. Ипатова, М.А. Храмова* К вопросу о формообразовании в архитектуре // Инженерный вестник Дона, 2024, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9084/.
5. Лебедева Г. Архитектура и дизайн: анализ концепции тотального дизайна Р.Б. Фуллера. Архитектура СССР, 1973. № 1., с. 58–61.
6. Седов В. Купола Фуллера. Проект классика, 2002. №4., с.104-111
7. Копытов М., Пляскин А. Пространственные стержневые конструкции покрытий. Томск, ISBN: 978-5-93057-895-9. С. 104.

8. Лившиц И.Е. Особенности расчета стержневых пространственных конструкций. Стройиздат. Ленинград. 1968, с. 240.
9. М. Элькина. Ричард Бекминстер Фуллер: многогранник как предчувствие. URL: [artelectronics.ru/posts/richard-bakminster-fuller-mnogogrannik-kak-predchuvstvie](http://artelectronics.ru/posts/richard-bakminster-fuller-mnogogrannik-kak-predchuvstvie)
10. Ференчик П., Тохачек М. Предварительно напряженные стальные конструкции. 1979, с. 424.
11. Fuller R.B. A Visionary Architect. The Green LaneTM. Environment Canada's. URL: [biosphere.ec.gc.ca/The\\_sphere/Richard\\_Buckminster\\_Fuller-WS30956246-1\\_En.htm](http://biosphere.ec.gc.ca/The_sphere/Richard_Buckminster_Fuller-WS30956246-1_En.htm)
12. Schumacher P. The Autopoiesis of Architecture. A New Framework for Architecture. London: John Wiley & Sons Ltd., vol. 1, 2010., pp. 632.

### References

1. Dobricyna I. Academia. Arxitektura i stroitel'stvo, 2019, (3), pp. 51–57.
2. Pimenova E.V., Demidova L.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4081/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4081/).
3. Informacionno-analiticheskij zhurnal. OOO «Izdatel'stvo «Zodchij». Sankt-Peterburg, 2023. Pp. 18-22.
4. Ipatova P., Khramova M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9084/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9084/).
5. Lebedeva G. Arxitektura SSSR, 1973. № 1. pp. 58–61.
6. Sedov V. Kupola Fullera [Fuller Domes]. Proekt klassika, 2002. №4. pp.104-111
7. Kopy'tov M., Plyaskin A. Prostranstvenny'e sterzhnevye konstrukcii pokry'tij [Spatial core structures of coatings]. Tomsk, ISBN: 978-5-93057-895-9. P. 104.



- 
8. Livshicz I.E. Osobennosti rascheta sterzhnevy'x prostranstvenny'x konstrukcij [Features of calculating rod spatial structures]. Strojizdat. Leningrad. 1968, p. 240.
9. M. E'l'kina. Richard Bekminster Fuller: mnogogrannik kak predchuvstvie. URL: [artelectronics.ru/posts/richard-bakminster-fuller-mnogogrannik-kak-predchuvstvie](http://artelectronics.ru/posts/richard-bakminster-fuller-mnogogrannik-kak-predchuvstvie)
10. Ferenchik P., Toxachev M. Predvaritel'no napryazhenny'e stal'ny'e konstrukcii [Prestressed steel structures]. 1979, p. 424.
11. Fuller R.B. A Visionary Architect. The Green LaneTM. Environment Canada's. URL: [biosphere.ec.gc.ca/The\\_sphere/Richard\\_Buckminster\\_Fuller-WS30956246-1\\_En.htm](http://biosphere.ec.gc.ca/The_sphere/Richard_Buckminster_Fuller-WS30956246-1_En.htm).
12. Schumacher P. The Autopoiesis of Architecture. A New Framework for Architecture. London: John Wiley & Sons Ltd., vol. 1, 2010. p. 632

**Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.**

**Дата поступления: 10.10.2025**

**Дата публикации: 20.11.2025**