

Проектирование гибких архитектурных форм с использованием взаимных структур

Е.А. Доможирова, Ю.С. Степанова, В.П. Маричева

Тульский государственный университет, Тула

Аннотация: В статье рассматриваются гибкие архитектурные формы с точки зрения параметрического подхода, дается определение таким понятием как архитектурная форма, функция и конструкция. Основное внимание уделено применению данной концепции к вращающимся многоэтажным зданиям и модульным кровлям. Исследуется возможность проектирования подобных конструкций в программной среде Grasshopper. В выводе дается оценка эффективности представленной разработки.

Ключевые слова: архитектура, конструкция, вращающиеся здания, модульная крыша, параметрический подход, взаимные структуры.

1. Введение

Гибкость, понимаемая как способность использовать одни и те же компоненты и способы строительства в различных объектах, является важной проблемой в архитектурном проектировании. Наиболее общепринятым подходом к решению этой проблемы является использование модульной координации. Это полезный инструмент при проектировании типовых объектов, но его сложно применять при проектировании свободных архитектурных форм [1]. Дизайн, естественной особенностью которого является гибкость, свободной формы был разработан в последние годы благодаря достижениям в области разработки программного обеспечения. Компьютерные технологии позволяют строить 3D-модели архитектурного объекта, чьи размеры могут быть легко изменены даже в режиме реального времени. Наличие такой модели позволяет конструктору следить за всеми подробными размерами, которые могут изменяться в результате корректировки основных параметров конструкции, а также анализировать распределение внутренних сил в конструктивной системе. Оптимальное определение взаимосвязи между всеми элементами, составляющими

архитектурный объект, является ключом к эффективному гибкому проектированию.

2. Архитектурные и структурные формы

Согласно общепринятому мнению, архитектурное произведение характеризуется функцией, конструкцией и формой [2]. Форма, обычно называемая архитектурной формой, определяется как место соприкосновения массы и пространства или внешнего вида, ограниченного контуром, который переходит в экстерьер архитектурного произведения и может быть предметом эстетической оценки. Функция и структура относятся в основном к интерьеру. Функциональность – организация внутреннего пространства в соответствии с конкретными потребностями человека. Из-за того, что эти потребности могут меняться со временем, объекты, интерьеры которых являются адаптируемыми, являются особенно функциональными [3]. Конструкция представляет собой совокупность тех элементов архитектурного объекта, которые переносят нагрузки на землю. Рациональная конструкция характеризуется максимально возможной стойкостью, при как можно меньшем весе.

Архитектурные работы должны быть спроектированы таким образом, чтобы ни одно из трех качеств: форма, функциональность и конструкция не имели преимущества над другими. Симбиоз между формой и конструкцией в так называемой конструктивной форме, которая характеризуется простотой, приемлемой как с эстетической, так и со статической точек зрения, является правильным шагом для достижения этой цели [4]. Метрическая деформация структуры при сильной взаимосвязи между ней и архитектурной формой должна приводить только к метрической деформации архитектурной формы или наоборот и никогда не может изменять аффинные свойства. Эта черта называется структурной стабильностью.

3. Сущность взаимности в структурном контексте

Тема взаимных структур известна со времен средневековья и набирает актуальность и в последние годы [5]. Мы понимаем взаимную структуру как структуру, состоящую из элементов, объединенных таким образом, что каждый элемент опирается на другие элементы конструкции, а также сам является для них опорой. Важной особенностью является то, что каждый элемент соединён в точке, свободно расположенной вдоль этих составляющих, только с одним другим элементом. Характеристики структурной системы, как взаимной или нет, зависит от упомянутых особенностей, а не от способа установления связей между компонентами. Современные исследования фокусируются на структурах, реализованных без соединителей, что ограничивает диапазон вариантов только пространственными планировками.

4. Гибкая конструкция устойчивых структурных форм с использованием взаимных структур

4.1. Вступление

Размеры простой вращательно-симметричной взаимной системы зависят от длины элементов, расположения точек соединения элементов и расположения внешних опор (рис. 1). На их основе могут быть построены мультивзаимные системы с тем условием, что не все элементы должны опираться на внешние опоры.

4.2. Вращающиеся формы многоэтажных зданий

Вращающиеся здания – это здания, следующие этажи которых построены путем повторения плана первого этажа с вращением вокруг вертикальной оси [6]. С точки зрения обеспечения максимальной функциональности здания, идеальным решением является перенос нагрузок с потолка на землю только через вертикальные колонны. В таком случае расположение колонн по отношению к отдельным этажам не является

идентичным. Использование систем взаимных балок в качестве конструкций, которые обеспечивают передачу нагрузок от перекрытий к колоннам, является разумным решением, найденным для описанной ситуации [7].

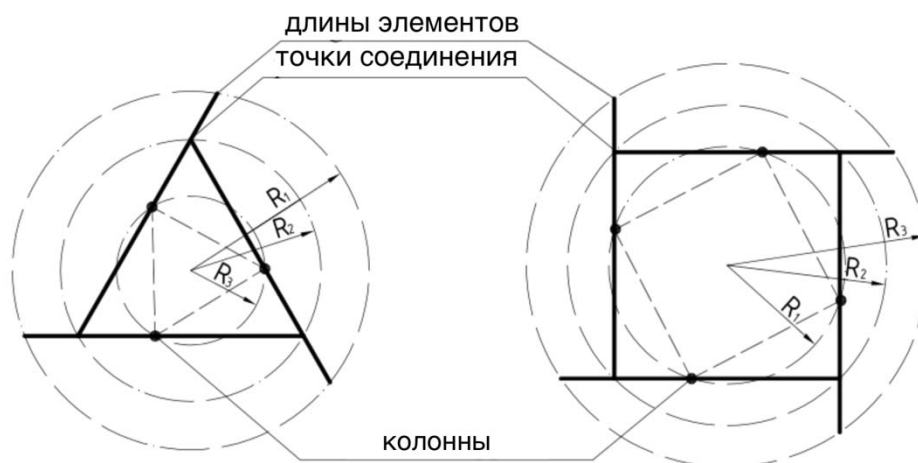


Рис. 1 - размеры, определяющие простую взаимную систему.

Идея основана на способности перемещать внешнюю опору и точку соединения по длине элемента взаимной системы. Реверсия этой концепции заключается в сохранении фиксированного положения колонн и изменении длины балок с обеих сторон опорных точек. Предлагаемая конструктивная система может быть адаптирована для строительства с полами в форме любого правильного многоугольника и позволяет принимать произвольные размеры и углы поворота для каждого этажа. Из-за слияния конструкции и формы, определяемой краями плит перекрытия, в устойчивую конструкционную форму становится легко доступным формирование вращающихся зданий, гибких в смысле, упомянутом ранее [8]. Можно аналогичным образом формировать вращающиеся здания на основе мультивзаимных систем, опирающихся на большее количество колонн (рис 2, рис. 3).

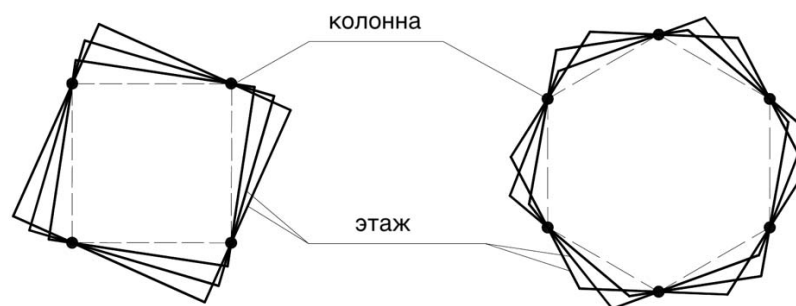


Рис. 2 – расположение колонн вращающихся зданий.

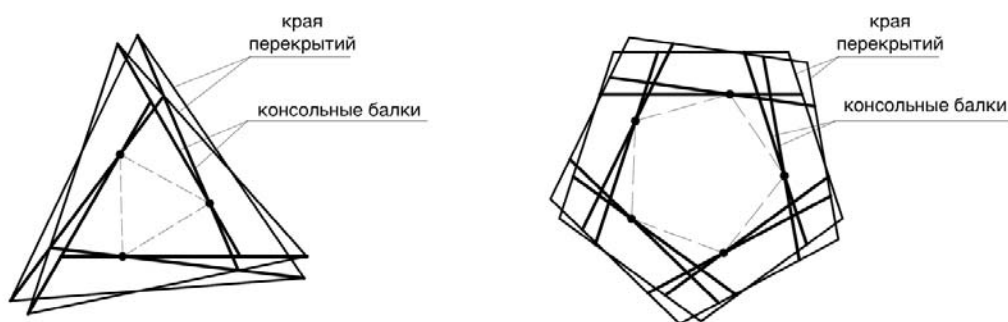


Рис. 3 - опорные плиты перекрытия с использованием систем консольных балок.

4.3. Модульные кровли

Рассматриваемые в статье кровли спроектированы на основе многоуровневых структурных систем благодаря применению арочных структурных элементов, которые отвечают за кривизну сегментов оболочки [9]. Пример расположения компонентов показан на рис. 4. Идея особенно подходит для крыш, длина которых значительно больше ширины и боковых краевых линий, не параллельных направлениям элементов конструкции, поскольку в этом случае формы отдельных сегментов особенно интересны и их разнообразие значительно по сравнению с размером крыши (рис. 5). Крыши характеризуются устойчивыми конструктивными формами, так как эти элементы формируют конструктивные системы и архитектурные формы.

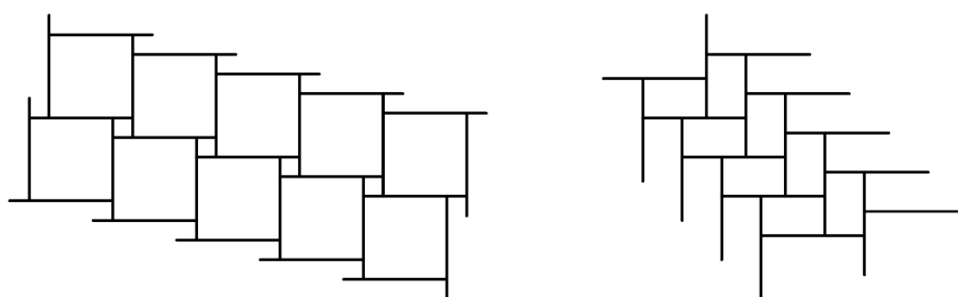


Рис. 4 – пример систем, являющихся основанием модульных кровельных оболочек.

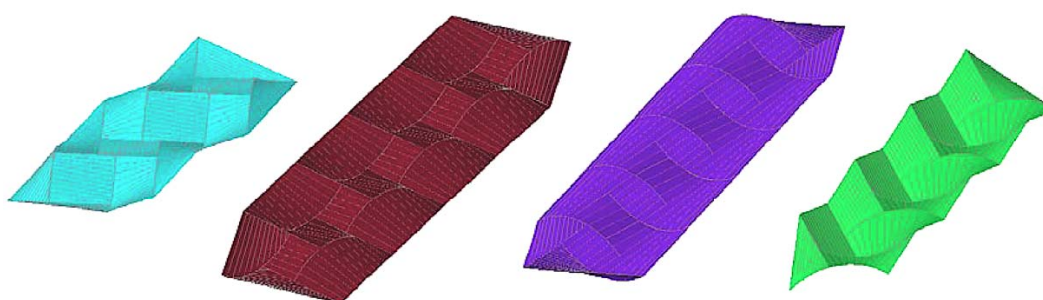


Рис. 5 - модели модульных кровельных оболочек на основе взаимных конструкций.

5. Параметрический дизайн с применением языка Grasshopper

Эффективный инструмент для гибкого формирования архитектурных форм с использованием взаимных структур может быть разработан на основе современного программного обеспечения для параметрического проектирования трехмерных объектов [10]. Мы использовали программу Grasshopper, которая является визуальным алгоритмическим языком программирования, работающим в среде Rhinoceros. Все пространственные формы, которые были сгенерированы, основаны на определениях и настройках, разработанных на языке Grasshopper. Из-за отсутствия возможности использования ограничений, реализованных в программном обеспечении, важным вопросом было определение надлежащих пределов для отдельных параметров, чтобы обеспечить соответствие геометрической модели конструктивному смыслу проектируемых форм.

Наша схема в Grasshopper определяет, что вращающиеся здания состоят из трех основных частей (рис. 6). Первая – это блок параметров, который может полностью управляться ползунками без ввода каких-либо случайных или внешних данных. Параметры делятся на группы, первая из которых определяет форму фундамента, число сторон пола, длину, угол поворота балки и т.д. Следующие группы используются для преобразования данных, занимающихся вращением балок и расчёта высот этажей, представленных многоугольниками. Эти индивидуальные настройки объединяются в два пакета данных. Пользователь выбирает абсолютную высоту каждого этажа, но углы поворота и длины балок выбираются из значения из интервала $\langle 0, 1 \rangle$ относительно стандарта размеров. Поскольку выбор крайних значений приводит к генерации решения, которое иррационально в структурном аспекте и противоречит идее взаимности, изменение значений практически ограничивается интервалом $\langle 0,1; 0,9 \rangle$.

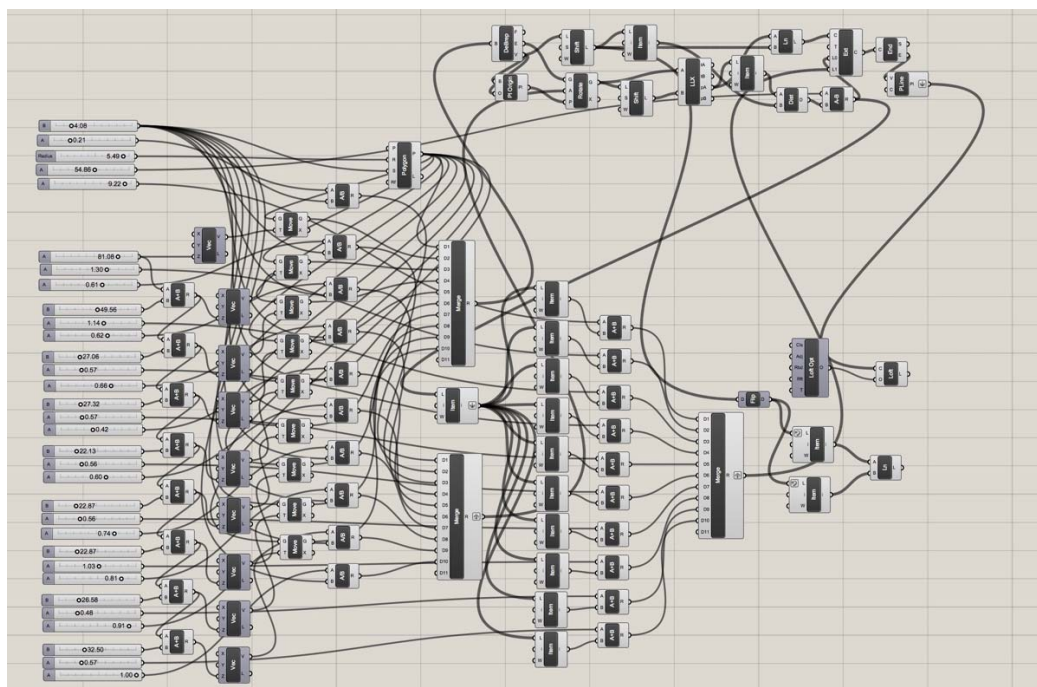


Рис. 6 – схема вращающегося здания в Grasshopper.

Вторая (верхняя) часть содержит основной алгоритм, который использует два списка, один из которых содержит преобразованную

геометрию многоугольников для каждого этажа, другой - список скаляров, управляющих вращением. Отвечающие за объект данные преобразуются в список отдельных частей, таких как сегменты и вершины. Этот список принимает участие в функции основного модуля вместе со списком условий вращения, которые создают хранилище структуры плоской геометрии. Ближе к концу реструктуризации данные переносятся за пределы модуля, в третью часть с разделёнными элементами, которые индивидуально изменяются с помощью ползунков, отвечающих за значение длины балок на каждом этаже. Объединенный список возвращается в основной модуль и пересчитывается, давая результаты в виде набора балок, концы которых определяют внешнюю сторону изогнутой оболочки. На рис.7 представлены примерные модели вращающихся зданий, сгенерированные с использованием разработанной программы.

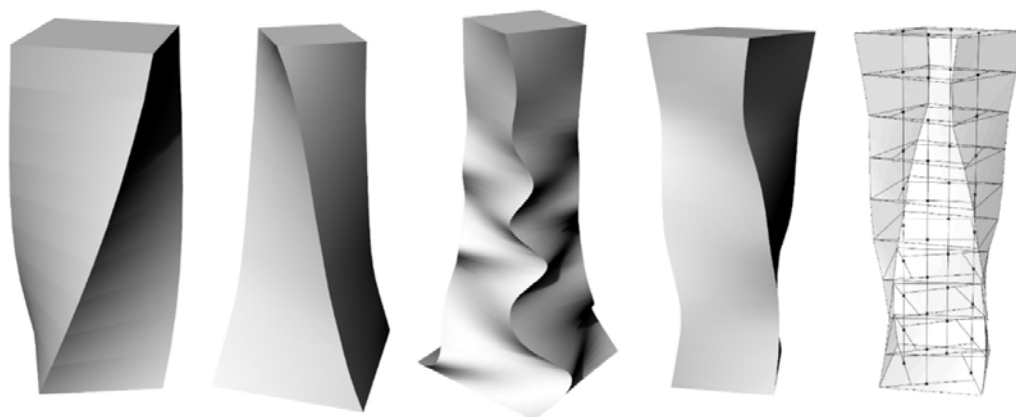


Рис. 7 – примеры моделей вращающихся зданий, созданные при помощи заданной схемы в программе Grasshopper.

Вторая программа, которая была проанализирована, касается модульных крыш, образованных из сегментов линейчатых поверхностей, чьи взаимные структуры создаются из горизонтальных балок и вертикально ориентированных арок (рис. 5). Программа Grasshopper делает данную ситуацию аналогичным образом, за исключением того, что значения параметров определяются один раз, в то время как дублирования



структурных модулей учитываются в заданном значении, создавая схему связей.

6. Вывод

В статье представлен концепт и функциональный инструмент свободного проектирования архитектурной формы, интегрированной со структурной системой, для отдельных категорий зданий: многоэтажных зданий и кровельных конструкций. Разработки обеспечивают архитектору большую свободу в проектировании формы объекта, одновременно освобождая от необходимости размышлять над конструкционной рациональностью. Создание представленного программного обеспечения в направлении реализации модуля анализа статической прочности должно дать всеобъемлющий инструмент для интегрированного создания форм, которые были бы, как и визуально впечатляющими, так и конструктивно эффективными.

Литература

1.Сапрыкина Н.А. Тезаурус параметрической парадигмы формирования архитектурного пространства // Architecture and Modern Information Technologies. – 2017. – No3(40). – С. 281-303 URL: marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/21_saprykina/index.php.

2.Барчугова Е.В. Параметризм как направление современной проектной деятельности // Architecture and Modern Information Technologies. – 2013. – No4(25). URL: marhi.ru/AMIT/2013/4kvart13/barchugova/abstract.php.

3.Савельева Н.А. Оценка конкурентоспособности дизайн-проектов интерьера в сфере строительного дизайна // Инженерный вестник Дона, 2012, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/717.

4.Шумейко В.И., Кудинов О.А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений //



Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164.

5. Wagdy A., Fathy F. A parametric approach for achieving optimum daylighting performance through solar screens in desert climates, *Journal of Building Engineering*, 2015, vol. 3, pp. 155-170. doi.org/10.1016/j.jobe.2015.07.007.

6. Vollers K.J. *Twist & Build: Creating Non-orthogonal Architecture*, 2001, 010 Publishers, Rotterdam, p. 287.

7. Piekarski M. Reciprocal Systems – the Geometric Tool for Shaping Twisted Forms of Buildings, *The Journal of Polish Society for Geometry and Engineering Graphics*, vol. 27, 2015, pp. 62-68.

8. A.V. Dyskin, Y. Estrin, A.J. Kanel-Belov, E. Pasternak A new concept in design of materials and structures: assemblies of interlocked tetrahedron-shaped elements *Scr. Mater, Scripta Materialia*, 2001, vol. 44, pp. 2689-2694. doi.org/10.1016/S1359-6462(01)00968-X.

9. Piekarski M., *Reciprocal Structures in Architectural Shaping of Floors and Roofs*. In: *Structures and Architecture – Concepts, Applications and Challenges*, P. Cruz (ed.), CRC Press, London, 2013, pp. 1071-1078.

10. Ibrahim H., Wagdyb A., Beccarella P., Carpenterc R., Chiltona J. Applicability of Flexible Photovoltaic Modules onto Membrane Structures Using Grasshopper Integrative Model, *Procedia Engineering*, vol. 155, 2016, pp. 379-387. doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.041.

References

1. Saprykina N.A. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017. No3(40). URL: marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/21_saprykina/index.php.

2. Barchugova E.V. *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2013. No4(25). URL: marhi.ru/AMIT/2013/4kvart13/barchugova/abstract.php.



3. Savel'eva N.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/717.
4. Shumejko V.I., Kudinov O.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164.
5. Wagdy A., Fathy F. Journal of Building Engineering, 2015, vol. 3, pp. 155-170. doi.org/10.1016/j.jobe.2015.07.007.
6. Vollers K.J. Twist & Build: Creating Non-orthogonal Architecture, 2001, 010 Publishers, Rotterdam, p. 287.
7. Piekarski M. The Journal of Polish Society for Geometry and Engineering Graphics, vol. 27, 2015, pp. 62-68.
8. A.V. Dyskin, Y. Estrin, A.J. Kanel-Belov, E. Pasternak Scripta Materialia, 2001, vol. 44, pp. 2689-2694. doi.org/10.1016/S1359-6462(01)00968-X.
9. Piekarski M., Reciprocal Structures in Architectural Shaping of Floors and Roofs. In: Structures and Architecture – Concepts, Applications and Challenges, P. Cruz (ed.), CRC Press, London, 2013, pp. 1071-1078.
10. Ibrahim H., Wagdyb A., Beccarellia P., Carpenterc R., Chiltona J. Procedia Engineering, vol. 155, 2016, pp. 379-387. doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.041.