



Особенности визуального программирования для проектирования мостовых сооружений на основе информационного и параметрического моделирования



Вин Ко Мьянт Ту

Российский университет транспорта, Москва, Россия / Магуэ, Мьянма.
ORCID 0009-0001-1751-5348.
✉ winkomyintthu@mail.ru.

ВИН КО МЬИНТ ТУ

АННОТАЦИЯ

Технический прогресс значительно способствовал расширению внедрения информационного моделирования зданий (BIM) в управление строительными проектами. Несмотря на это, подход BIM в основном применялся к проектам строительства зданий, при этом инфраструктурным проектам, таким как мосты, уделялось ограниченное внимание.

Эти типы проектов часто имеют значительные геометрические и семантические различия между структурами, что затрудняет использование существующих схем данных BIM. Недавние исследования показывают, что параметрическое моделирование может обеспечить жизнеспособное решение, позволяющее повысить эффективность проектирования и функциональную совместимость. Однако количество существующих научных источников по этой теме остается весьма ограниченным. Цель исследования, представленного в статье, – устранить этот пробел в знаниях

путем разработки параметрических мостовых элементов, способных генерировать все типы мостовых конструкций из одного параметрического файла.

Параметрические скрипты, использованные в этом исследовании, были разработаны с использованием языка визуального программирования Grasshopper и впоследствии интегрированы в Tekla Structures, популярное программное обеспечение BIM для целей моделирования. Полученная в результате интеграция BIM позволяет исследовать и создавать перспективные проекты со сложной геометрией, что в конечном итоге приводит к получению экономически эффективных решений. По сравнению с традиционными методологиями проектирования, полученные результаты демонстрируют существенные улучшения с точки зрения экономии времени, повышенной гибкости проектирования и оптимизированных конструктивных характеристик.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, BIM, мост, параметрическое моделирование, элемент моста, программирование, Tekla Structures, Grasshopper.

Для цитирования: Вин Ко Мьянт Ту Особенности визуального программирования для проектирования мостовых сооружений на основе информационного и параметрического моделирования // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 3 (112). С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-3-5>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Технологии, используемые в области архитектуры, инжиниринга, строительства и эксплуатации (*AECO*), постоянно совершенствуются, но при этом также ускоряется и рост новых требований к ним. Крупные инфраструктурные проекты, такие как мосты, становятся все более распространенными, что требует разработки новых технологий для создания планов и документов, а также обработки изменений и поступающей информации в процессе проектирования.

Прежнее программное обеспечение для создания чертежей (например, AutoCAD) позволяло создавать проектную документацию, хранить ее в электронном виде и вносить необходимые изменения. Однако такой подход вытесняется информационным моделированием, которое предлагает значительные преимущества с точки зрения интеграции данных. В результате системы BIM генерируют объектно-ориентированную трехмерную модель, связанную с базой данных всех элементов и материалов. Архитектурный дизайн (геометрия строительных элементов, пространственные соотношения, связность), структурный дизайн (проектная документация, структурная схема) и информация о процессах строительства и технического обслуживания здания – все это включено в систему информационного моделирования [1].

Проектирование мостовых элементов является важнейшим аспектом развития инфраструктуры, требующим тщательного учета различных факторов, таких как целостность конструкции, долговечность, эстетика и воздействие на окружающую среду. Традиционный ручной процесс проектирования может быть трудоемким, подверженным ошибкам и приводить к длительным циклам проектирования. Обзор некоторых публикаций (например, [2]) показал, что параметрический подход к проектированию является одним из методов повышения эффективности этого процесса и функциональной совместимости.

Технологии информационного и параметрического моделирования все шире используются в проектировании инфраструктуры благодаря инструментам проектирования BIM [3]. Использование информационного и параметрического моделирования улучшает процесс проектирования за счет сокращения времени и усилий [4; 5]. Метод основан на введении параметров и численных зависи-

мости между элементами для создания гибких моделей. Геометрия реализована в параметрическом моделировании с использованием языка программирования, и большинство ситуаций параметрического моделирования сосредоточены вокруг визуальных сценариев [6].

Цель исследования – разработка параметрических мостовых элементов, способных генерировать все типы мостовых конструкций из одного параметрического файла.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методология. Преимущества параметрического моделирования

При параметрическом моделировании разработчик скрипта вводит параметры, которые служат основой для создания геометрии и последующего выполнения всех необходимых анализов и вычислений. Для упрощения процесса сложные конструкции могут быть разделены на управляемые компоненты, такие как главный мост, подъездные мосты и вспомогательные сооружения. Затем, объединив эти отдельные разделы, можно создать единую визуальную модель, обеспечивающую всестороннее представление об общей структуре.

Методология, описанная в этой статье, направлена на преодоление ограничений, возникающих в процессе проектирования, путем использования инструментов, доступных в среде Grasshopper, которая использует визуальные скрипты и не требует от проектировщика умения программировать.

В статье также рассмотрены примеры разработанных параметрических мостовых элементов, при использовании которых можно ускорить процесс создания и изменения параметрических моделей сооружения без необходимости в ручной настройке отдельных компонентов. Это нововведение направлено на оптимизацию процесса проектирования, повышение производительности работы и снижение вероятности ошибок. Параметрические элементы, необходимые в проекте, разрабатываются в среде BIM, а затем соединяются, образуя единый структурный организм. Прямая связь Grasshopper – Tekla Structures позволяет завершить весь процесс. Благодаря прямым связям между программным обеспечением, таким как Tekla Structures, и инструментами визуального программирования, такими как Grasshopper,



Рис. 1. Рабочий процесс между Grasshopper и Tekla Structures [выполнено автором].



Рис. 2. Простой скрипт Grasshopper для бетонных опор моста [выполнено автором].

проектировщики могут реализовать рабочий процесс без опыта программирования. Процесс взаимодействия между программами информационного моделирования и визуального программирования кратко представлен на рис. 1.

Этапы создания параметрических элементов

Применение алгоритмического проектирования в строительстве мостов открывает многообещающие возможности для инноваций. Чтобы проиллюстрировать этот потенциал, рассмотрим пример создания параметрических элементов для моста в Республике Мьянма.

Мост всегда строится с нуля, от опор до проезжей части [7]. Это хорошо подходит для моделирования. В среде Grasshopper пользователь может определить ось моста, указав три точки (координаты начальной, средней и конечной точек), или непосредственно извлечь кривую из оси моста, повторно проведя параметризацию геометрии, полученной в результате прямого моделирования с использованием элемента «curve». Затем пользователь может просто создать сценарий для строительства опор в соответствии с осью моста. Чтобы получить стабильную и удобную для проектировщика модель, пользователи могут разбить модель на несколько

подмоделей, связанных с каждым элементом моста (проезжей частью, опорами, ограждениями и т.д.). На рис. 2 показан сценарий, разработанный для опор моста.

Следующим этапом является проектирование элементов балок моста. Балки служат основной опорой для настила моста и передают вес на опоры. Поскольку форма «I» (двутавр) конструктивно эффективна, балки часто имеют эту форму. Верхний и нижний фланцы в форме буквы «I» обеспечивают горизонтальную поддержку и устойчивость к изгибу, в то время как вертикальная перемычка соединяет два фланца и обеспечивает устойчивость к давлению сдвига. В Grasshopper двутавровые балки создаются путем предварительного задания профиля, а затем используются различные элементы для построения геометрии. Балки сконструированы таким образом, чтобы пользователь мог изменять технические характеристики сечения по своему желанию.

Балка создается с использованием полилиний, которые затем сегментируются на основе точек соединения или спецификаций длины. В структурной модели могут быть определены области, в которых изменяются свойства балки, такие как эффективная ширина бетонных элементов или свойства поперечного сечения сплошной балки. Эти параметры можно изменять с помощью параметрического подхода. Например, параметриче-



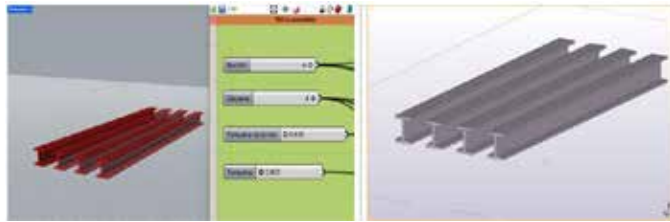


Рис. 3. Параметрические двутавровые балки в Grasshopper и Tekla Structures [выполнено автором].



Рис. 4. Количество балок определяет изменение проезжей части моста [выполнено автором].

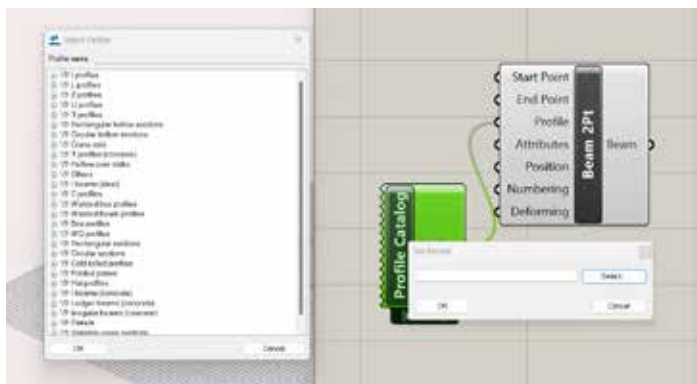


Рис. 5. Большое количество профилей в плагине Tekla в Grasshopper [выполнено автором].

ская двутавровая балка была создана с использованием алгоритма, основанного на BIM (рис. 3), что демонстрирует потенциал этого подхода.

Создание пролетного строения, как правило, один из сложных аспектов для проектировщиков из-за уникальности входных данных, которые представляют собой направляющую кривую для моста [8]. При расстановке опор учитывается длина моста и другие характеристики. Скрипт позволяет создавать опоры различной длины и соединять их с основными или поперечными балками [9]. В процессе моделирования можно выбирать различные типы профиля поперечных балок и их количество в зависимости от особенностей проекта. Чтобы подтвердить адаптивность к изменениям значений параметров и условий, процесс генерации геометрии проходит несколько этапов. Как только модель моста Grasshopper будет завершена, ее

можно использовать в качестве шаблона для других проектов, подключив ее к базе данных [10; 11]. Результат использования параметризации ширины проезжей части моста и то, как она изменяется при изменении параметра, связанного с количеством балок, показан на рис. 4.

С помощью прямых соединений между программным обеспечением BIM, таким как Tekla Structures, и инструментами визуального программирования, такими как Grasshopper, проектировщики могут реализовать параметрический рабочий процесс без предварительного опыта программирования [12].

При желании пользователю достаточно сгенерировать элемент на базе Grasshopper, добавить его в каталог компонентов Tekla, и с легкостью использовать. Поскольку Tekla предлагает обширную библиотеку профилей для различных секций (рис. 5), программное

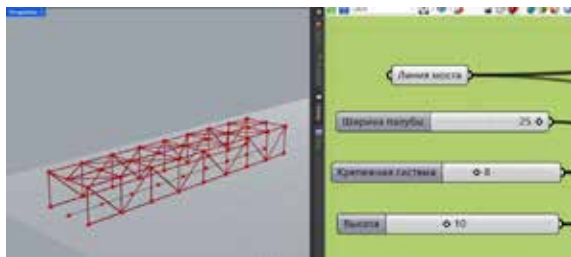


Рис. 6. Параметрическая секция фермы в Grasshopper [выполнено автором].

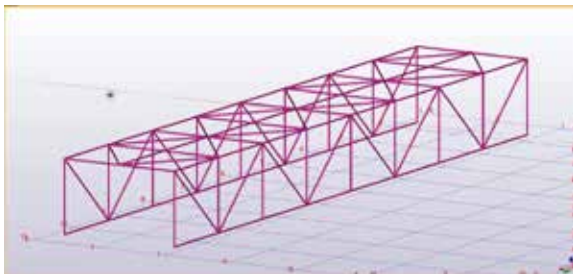


Рис. 7. Параметрическая секция фермы в Tekla Structures [выполнено автором].

обеспечение особенно эффективно при разработке параметрических деталей для мостов [13].

Работая над автоматизированным проектированием с использованием алгоритмов, проектировщики могут преодолеть ограничения стандартного программного обеспечения САПР и инструментов компьютерной 3D-графики, достигая степени сложности, превышающей способность человека взаимодействовать с цифровыми объектами [14]. Чтобы воспользоваться преимуществами этих возможностей, оператор должен быть знаком с основами языков программирования, таких как C# или Python.

Упрощенная параметрическая конструкция металлической фермы для моста показана в заключительном разделе этого исследования. Целью является разработка простого и эффективного процесса, полезного на этапе концептуального проектирования, ранних проверок и принятия решений, поскольку мы продолжаем работать над параметрическими элементами всех многочисленных типов мостов, которые предлагает Grasshopper.

Создание параметрического фрейма в Grasshopper предполагает использование различных элементов и инструментов для определения параметров, взаимосвязей и геометрии. Для создания такой конструкции необходимо определить ключевые параметры, установить алгоритмы или математические соотношения, управляющие геометрией кар-

каса и структурными элементами, и использовать элементы Grasshopper для преобразования этих правил в параметрическую трехмерную модель. Благодаря этому итеративному процессу проектировщики могут усовершенствовать и оптимизировать конструкцию в соответствии с поставленными целями и ограничениями. Конечным результатом является параметрическая ферма, которая легко адаптируется к меняющимся требованиям дизайна и автоматически обновляется в Tekla Structures (рис. 6; 7).

ВЫВОДЫ

Интеграция современных технологий в проектирование, строительство и эксплуатацию транспортной инфраструктуры позволяет находить эффективные и оптимальные решения на любом этапе жизненного цикла сооружения [15; 16]. Используя подключаемые модули для объединения специализированного программного обеспечения с информационным моделированием, операторы и проектировщики могут свести к минимуму вероятность ошибок и оптимизировать процесс проектирования. Внедрение дополнительных программ и подключаемых модулей облегчает создание информационной модели моста, а также выполнение необходимых вычислений на любом этапе эксплуатации объекта с учетом результатов мониторинга. Кроме того, параметрическое моделирование позволяет инженерам работать со сложной геометрией, автоматизировать повторяю-



щиеся задачи проектирования и создавать индивидуальные рабочие процессы, тем самым оптимизируя процесс проектирования и повышая общую эффективность.

В представленной работе параметрические элементы для мостов создаются с использованием дополнения Grasshopper, визуального языка программирования и среды, что позволяет создавать гибкую генеративную модель, готовую для тестирования в Tekla Structures. Алгоритм генерирует геометрию элементов моста на основе параметрических входных параметров, при этом каждый конструктивный элемент имеет свой собственный набор входных значений, которые определяют размеры геометрии. Изменяя эти входные значения, можно изменять ширину, высоту, длину и угол наклона отдельных конструктивных элементов. Запрос оператора определяет, какие значения необходимо параметризовать, что позволяет вносить эффективные и целенаправленные изменения в конструкцию. Предлагаемые визуальные сценарии демонстрируют улучшенную производительность с точки зрения вычислительных затрат и ресурсосберегающего проектирования и анализа, превосходя традиционные несовместимые процессы. Такой подход позволяет эффективно создавать мосты сложной геометрии и облегчает оптимизацию проектных параметров, что в конечном итоге сокращает время и ресурсы, необходимые для проектирования и анализа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Svoboda, L., Novák, J., Kurilla, L., Zeman, J. A framework for integrated design of algorithmic architectural forms. *Advances in Engineering Software*, 2014, Vol. 72, pp. 109–118. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2013.05.006.
2. Chokhachian, A. Studies on Architecture Design Procedure A Framework for Parametric Design Thinking. Thesis for: Master of Science in Architecture, Eastern Mediterranean University, 2014. [Электронный ресурс]: <http://i-rep.emu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11129/1510/ChokhachianAta.pdf?sequence=1>. Доступ 27.12.2023.
3. Quispe, L., Ulloa, W. Application of BIM Tools in Parametric and Generative Design for the Conception of Complex Structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, Vol. 1203, 022070. DOI: 10.1088/1757-899X/1203/2/022070.
4. Смирнова О. В., Чжо З. А. Возможности адаптации программы Tekla при проектировании элементов металлических мостов // *Транспортное строительство*. – 2017. –

№ 10. – С. 20–21. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34957184>. EDN: XNZIMP.

5. Smirnova, O. V., Smirnov, K. V. Creating automation tools with BIM-programs for designing elements of metal bridges. *Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS 2017*, St. Petersburg, 2017, pp. 773–775. DOI: 10.1109/ITMQIS.2017.8085940.
6. Sardone, L., Greco, R., Fiore, A., Moccia, C., Tommasi De, D., Lagaros, N. D. A preliminary study on a variable section beam through Algorithm-Aided Design: A way to connect architectural shape and structural optimization. *Procedia Manufacturing*, 2020, Vol. 44, pp. 497–504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.264>.
7. Reis, A. J., Oliveira Pedro, J. J. *Bridge Design: Concepts and Analysis*. Wiley, 2019, 552 p. ISBN: 978–0–470–84363–5.
8. Girardet, A., Boston, C. A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis. *Automation in Construction*, 2021, Vol. 126, 103679. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103679>.
9. Вин Ко Мьинт Ту. Возможности и преимущества использования параметрических скриптов в информационном моделировании мостовых сооружений // *Транспортное строительство*. – 2024. – № 2 – С. 27–29. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67972990>. EDN: AYYRUK.
10. Katz, C. Parametric Description of Bridge Structures. *Proceedings of the IABSE Conference on Information and Communication Technology for Bridges, Buildings and Construction Practice*, Helsinki, Finland, 2008. In: *IABSE Reports*, 2008, No. 94, pp. 17–27. DOI: 10.2749/22213780 8796105847.
11. Humppl, H. Algorithm-Aided Building Information Modeling: Connecting Algorithm-Aided Design and Object-Oriented Design. Tampere University of Technology School of Architecture Master's Thesis, 2015. [Электронный ресурс]: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/123456789/23492/3/Humppl.pdf>. Доступ 15.12.2023.
12. Preisinger, C. Linking Structure and Parametric Geometry. *Architectural Design*, 2013, Vol. 83, Iss. 2, Special Issue: Computation Works: The Building of Algorithmic Thought, pp. 110–113. DOI: <https://doi.org/10.1002/ad.1564>.
13. Boretti, V., Sardone, L., Bohórquez Graterón, L. A., Masera, D., Marano, G. C., Domaneschi, M. Algorithm-Aided Design for Composite Bridges. *Buildings*, 2023, Vol. 13, Iss. 4, Special Issue Study on Building Simulation, 865. DOI: 10.3390/buildings13040865.
14. Ibrahim, R., Rahimian, F. P. Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design. *Automation in Construction*, 2010, Vol. 19, Iss 8, pp. 978–987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.003>.
15. Ge Gao, Yu-Shen Liu, Pengpeng Lin, Meng Wang, Ming Gu, Jun-Hai Yong. BIMTag: Concept-based automatic semantic annotation of online BIM product resources. *Advanced Engineering Informatics*, 2017, Iss. 31, pp. 48–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.10.003>.
16. Xichen Chen, Chang-Richards, A., Pelosi, A., Yaodong Jia. Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review. *Engineering Construction & Architectural Management*, 2021, Vol. 29, Iss. 8, pp. 3181–3209. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>. ●

Информация об авторе:

Вин Ко Мьинт Ту – аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования Российского университета транспорта, Москва, Россия / *Maguz, Mьянма, winkomyinthu@mail.ru*.

Статья поступила в редакцию 12.12.2023, актуализирована 29.07.2024, одобрена после рецензирования 26.08.2024, принята к публикации 30.08.2024.