

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 6. С. 188–200.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (6): 188–200.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.21.004.94

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-188-200

EDN: UUPYBD

АДАПТИВНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТАЛЬНЫХ МОСТОВ В МЬЯНМЕ ПУТЕМ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ольга Владимировна Смирнова, Вин Ко Мьинт Ту

Российский университет транспорта (РУТ/МИИТ), г. Москва, Россия

Аннотация. Являясь одной из развивающихся стран мира, Мьянма переживает в настоящее время значительный всплеск активности строительства мостов. Тем не менее страна сталкивается с ограниченными ресурсами в области мостостроения, что может негативно сказаться на качестве возводимых объектов. Особую озабоченность вызывает техническое состояние мостов в Мьянме, особенно старых. Некоторые мосты в Мьянме, возведенные ранее, были построены с использованием устаревших технологий и материалов, а также в условиях сжатых сроков, поэтому в настоящее время они остро нуждаются в ремонте. Хотя создание новой инфраструктуры сыграло важную роль в транспортном секторе Мьянмы, техническое обслуживание существующей мостовой инфраструктуры также необходимо для обеспечения ее дальнейшего безопасного развития.

В настоящем исследовании представлен динамичный подход к интеграции информации и параметрического моделирования для восстановления существующих стальных ферменных мостов в Мьянме. Авторами проведена оценка текущего состояния стальных ферменных мостов в старне. Для создания параметрических сценариев использован язык визуального программирования Grasshopper, а созданная модель может быть интегрирована в инструменты информационного моделирования (BIM), такие как Tekla Structures и Midas Civil, детализации конструктивных элементов и расчетов прочности.

Интеграция параметрической модели фермы в многочисленные программные пакеты повысила гибкость процесса автоматизации проектирования, сократив трудо- и временные затраты. Такой подход к проектированию позволяет использовать несколько вариантов одной модели в рамках одного файла, упрощая процесс создания такой сложной конструкции, как мост. Результаты демонстрируют значительное улучшение временных показателей, возможность выбора альтернативных вариантов проектирования и повышение эксплуатационных характеристик конструкции. Кроме того, такой подход имеет потенциал для кардинального изменения процесса проектирования мостов, способствуя созданию более эффективных и экономически выгодных конструкций, отвечающих современным требованиям транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: Мьянма, мост, ферма, BIM, параметрическое моделирование, визуальное программирование, транспорт, инфраструктура

Для цитирования: Смирнова О.В., Вин Ко Мьинт Ту. Адаптивный подход к проектированию стальных мостов в Мьянме путем интеграции информацион-

ного и параметрического моделирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 6. С. 188–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-188-200. EDN: UUPYBD

ORIGINAL ARTICLE

**ADAPTIVE APPROACH TO STEEL BRIDGE DESIGN
IN MYANMAR BY INTEGRATION OF INFORMATION
AND PARAMETRIC MODELING**

Olga V. Smirnova, Win Ko Myint Thu

Russian University of Transport, Moscow, Russia

Abstract. Being one of the world's developing countries, Myanmar experiences a significant surge in bridge construction. It, however, suffers resource limits in the bridge sector, which may result in quality difficulties during the construction process. There are serious concerns with the maintenance of some Myanmar bridges, particularly the older ones. Some old bridges in Myanmar were built with limited time, materials, and they are currently in critical need of renovation. While the creation of new infrastructure plays an important role in Myanmar's transport sector, maintenance of the existing bridge infrastructure is also necessary to ensure its continued safe development.

This article presents a dynamic approach to integration of information and parametric modeling of revocation of steel truss bridges in Myanmar. A brief assessment is given for the current situation of steel truss bridges in Myanmar. The Grasshopper visual programming language is utilized for creating parametric scripts, and the model is able to integrate into information modeling tools such as Tekla Structures and Midas Civil for additional details and strength analysis. The integration of the truss parametric model into numerous software packages improves the flexibility of design automation process, saving time and effort. The design approach makes it possible to get several variants of the same model in a single file, and the process of building a complicated structure like a bridge becomes considerably simpler and more efficient. The results show significant improvements in time savings, alternative design selection, and structural performance. Furthermore, this approach has the potential to revolutionize bridge design, leading to more cost-effective and efficient structures that meet contemporary demands of the transportation infrastructure.

Keywords: Myanmar, bridge, truss, building information modeling, parametric modeling, visual programming, transport, infrastructure

For citation: Smirnova O.V., Win Ko Myint Thu. Adaptive Approach to Steel Bridge Design in Myanmar by Integration of Information and Parametric Modeling. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (6): 188–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-188-200. EDN: UUPYBD

Введение

Мьянма, известная также как Бирма, является крупнейшей по площади страной в континентальной части Юго-Восточной Азии с населением около 55 млн чел., проживающих на площади 676 578 км² [1]. Растущая экономика Мьянмы привела к увеличению объемов строительства и технического обслуживания транспортных систем. Стальные ферменные мосты традиционно играют значимую роль в мостостроении Мьянмы, обеспечивая перемещение грузов и пассажиров по территории всей страны. Эти ферменные мосты вы-

соко ценятся благодаря своей способности перекрывать большие расстояния и выдерживать значительные нагрузки. Большинство длиннопролетных мостов на крупных реках Мьянмы представляют собой стальные ферменные мосты, кроме того, встречаются и подвесные мосты, и вантовые мосты. При проектировании и строительстве мостов инженеры Мьянмы часто опираются на стандарты Американской ассоциации автомобильных дорог и транспортных чиновников (AASHTO) [2]. Проектирование и строительство мостов в стране контролирует Министерство строительства. Управление общественных работ, подчиняющееся Министерству строительства, отвечает за планирование, проектирование, оценку, строительство и техническое обслуживание национальных автомагистралей, мостов, правительственных зданий и аэропортов в соответствии с разработанными требованиями.

Однако текущее состояние стальных ферменных мостов в Мьянме отражает наличие более серьезных системных проблем, с которыми сталкивается инфраструктура страны. К 2023 г. значительная часть стальных ферменных мостов в Мьянме находится в неудовлетворительном состоянии. Некоторые из них, изначально запроектированные под меньшие транспортные нагрузки и менее интенсивное движение, в настоящее время испытывают сложности с обслуживанием современных транспортных средств и более тяжелых грузов. Это приводит к частым заторам на дорогах и ускоренному износу конструкций, что вызывает опасения по поводу безопасности пассажиров.

В 2018 г. правительство Мьянмы провело масштабную программу обследования мостов, в ходе которой было обнаружено, что системы технического обслуживания некоторых стальных ферменных мостов функционирует недостаточно эффективно, поскольку отсутствуют стандартизированные методы осмотра и ремонта, а также неполный учет результатов проверок в базах данных. Около 40 % старых ферменных мостов испытывают трудности в обслуживании, что негативно отражается на их долговременной работе. Одной из наиболее серьезных проблем стальных ферменных мостов в Мьянме остается недостаточное техническое обслуживание. Регулярные проверки и необходимое техническое обслуживание часто затруднено из-за нехватки финансирования и дефицита технических ресурсов. Такие факторы, как коррозия, усталостные разрушения и старение материалов, продолжают оказывать свое негативное воздействие. Неэффективная система управления, рост интенсивности дорожного движения и последствия изменения климата усиливают износ этих сооружений.

Кроме того, на многих мостах отсутствуют развитые системы мониторинга для выявления первоначальных признаков проблем, что приводит к неожиданным разрушениям конструкций, которые угрожают общественной безопасности. Последствия изменения климата осложняют ситуацию со стальными ферменными мостами в Мьянме. Возрастающая интенсивность природных катаклизмов в сочетании с уязвимостью страны перед стихийными бедствиями подвергает многие мосты риску катастрофических разрушений. Невозможность адаптации данной инфраструктуры к ухудшающимся условиям окружающей среды отражает общую слабость устойчивости инфраструктуры Мьянмы. В связи с этим для обеспечения долговечности и безопасности стальных ферменных мостов в Мьянме требуется комплексный подход к их реабилитации.

Параметрическое моделирование на основе информации

Проектирование моста всегда было сложной задачей для инженеров, поскольку оно предполагает сочетание инженерных принципов, экологических проблем и эстетических требований. Основной проблемой является устойчивость конструкции моста, а также его сложная геометрия и изогнутые формы. Геотехнические и экологические соображения также усложняют процесс проектирования, поэтому эстетика моста требует тонкого баланса между функциональностью и внешней привлекательностью, часто с использованием сложных элементов дизайна, которые должны быть вписаны в окружающий ландшафт. Однако благодаря все более широкому внедрению технологии параметрического моделирования, основанной на BIM (Building Information Modeling), эти ограничения могут быть преодолены. Технология информационного моделирования – это преобразующий подход к проектированию мостов, предлагающий цифровое представление, которое объединяет различные аспекты физических и функциональных характеристик моста на протяжении всего его жизненного цикла. Информационная модель представляет собой трехмерное представление всей структуры, а также ее отдельных компонентов при условии, что любые изменения автоматически отражаются в соответствующей документации [3, 4].

Сочетание информационного и параметрического моделирования позволяет инженерам использовать максимум возможностей при проектировании мостов. Задачи, которые ранее были невыполнимы, стали достижимыми. Инженеры могут автоматизировать повторяющиеся задачи проектирования, создавать индивидуальные рабочие процессы и работать со сложной геометрией. Параметрические методы существенно расширяют возможности программного обеспечения, позволяя инженерам создавать собственные функции вместо ожидания обновления или выпуска новых версий ПО. BIM активно внедряется в практику проектирования зданий, а инструмент Grasshopper становится одним из ведущих решений в этой области. Революционный метод визуального программирования Grasshopper выводит параметрический BIM на новый уровень. Это не только упрощает процесс создания сложных 3D-моделей, таких как мосты, но и повышает точность и ускоряет внесение изменений в дизайн. Комбинирование гибкого визуального программирования Grasshopper с динамическими возможностями параметрической BIM значительно расширяет возможности. На примере табл. 1 показано взаимодействие Grasshopper с программным обеспечением BIM.

Таблица 1

Сочетание Grasshopper с BIM

Table 1

Grasshopper in building information modeling

Программное обеспечение	Сочетание	Изменения в режиме реального времени при редактировании
Tekla Structures	Прямая интеграция	Да
Revit	Прямая интеграция	Да
Archicad	Прямая интеграция	Да

Окончание табл. 1
End of table 1

Программное обеспечение	Сочетание	Изменения в режиме реального времени при редактировании
BricsCAD	Прямая интеграция	Да
Quadri	Обмен данными	Нет
CADWORK 3D	Обмен данными	Нет
Visual ARQ	BIM-плагин	Да
Speckle 2 BIM	BIM-плагин	Да
MKS BEAM	BIM-плагин	Да
Geometry GYM	BIM-плагин	Да

Создание пролетного строения обычно является одним из самых сложных аспектов для проектировщиков из-за уникальности входных данных, которые представляют собой направляющую кривую для моста [5]. Однако использование инструмента Grasshopper значительно упростило этот процесс, предлагая широкий спектр плагинов и графических компонентов, которые просты в использовании и позволяют избежать работы с текстовыми командами. При параметрическом моделировании разработчик скрипта предоставляет входные параметры. Благодаря этим входным данным модель получает всю необходимую информацию для создания геометрии и последующего выполнения всех анализов и вычислений. Чтобы ускорить процесс, геометрия сложной конструкции может быть разделена на основной мост, подъездные мосты и вспомогательную конструкцию. Однако существует также визуальная модель, которая объединяет все отдельные секции. После разработки всех компонентов конструкции пользователь может решить, как оптимизировать дизайн. Эта процедура оптимизации в конечном итоге приведет к созданию предварительного проекта с наименьшими затратами и экологическим эффектом.

Моделирование параметрической фермы

Чтобы усовершенствовать конструкцию за счет интеграции информации и параметрического моделирования, в качестве объекта исследования была выбрана пролетная конструкция моста Яданатеинга. Расположенный, в центральной части Мьянмы, в Мандалае, мост имеет общую длину 756 м, включая два подъездных пролета с обоих концов. Сооружение имеет три непрерывные двухпролетные конфигурации и построено в виде ферменного моста шириной 8,5 м, который обеспечивает двустороннее движение транспортных средств. Длина подъездной дороги со стороны Синт-Ку составляет 60 м, а длина подъездной дороги со стороны Кьяук-Мьянга – 20 м. На мосту также есть пешеходные дорожки шириной в один метр с каждой стороны. Этот мост соединяет городок Синт-Ку в округе Мандалай с городком Кьяук-Мьянг в округе Сагаинг. На рис. 1 показан профиль моста Яданатеинга.

Сценарии с использованием алгоритмов для пролетных строений моста Яданатеинга разрабатываются в Grasshopper путем определения целей проектирования и спецификаций, таких как форма, размеры и свойства материала, а затем модель передается в Tekla Structures по прямой ссылке Grasshopper-Tekla Structures. Tekla Structures автоматически обновляет всю структуру с учетом изменений в дизайне, не требуя от пользователя ничего, кроме ввода параметров в Rhino Grasshopper. Такой подход не только ускоряет разработку ферменных конструкций, но и позволяет проводить динамические изменения и оптимизацию на основе различных параметров.

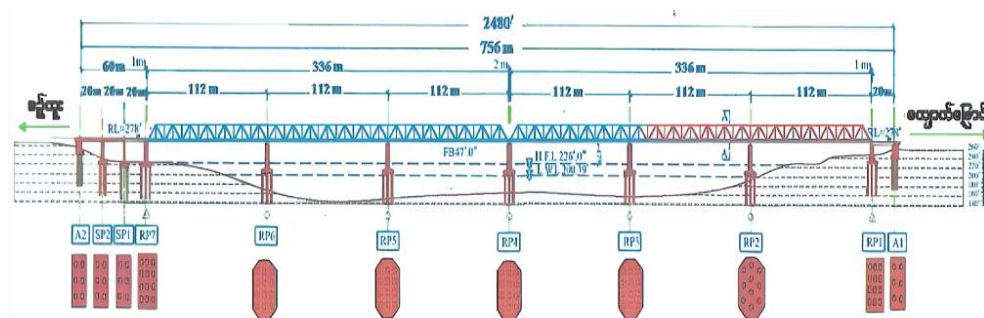


Рис. 1. Профиль моста Яданатеинга
Fig. 1. Yadanatheinga bridge profile

Чтобы разработать основанный на алгоритмах сценарий для ферменной конструкции в Grasshopper, необходимо определить проектные параметры, такие как длина пролета, высота фермы и количество панелей, которые послужат основой для процесса проектирования [6]. Затем нужно создать базовую линию для представления пролетного строения моста и с помощью компонента «Разделительная кривая» разделить его на панели, добавив вертикальные опоры на каждом участке. Верхняя и нижняя хорды фермы создаются путем соединения вертикальных опор с помощью компонента «Линия» после создания схемы фермы. Для получения оптимального сочетания производительности и эффективности использования материалов необходимо отрегулировать конструктивные параметры, используя методы визуализации информации и оптимизации. Завершается процесс документированием и окончательной настройкой скрипта Grasshopper, созданием удобного интерфейса для регулировки параметров и подготовкой выходных данных для программы Rhino, результатом которых будет оптимизированная конструкция ферменного моста.

Для ввода параметрических данных для моста Яданатеинга авторы разработали параметрическую стальную ферму, используя интерфейс Grasshopper (рис. 2). Ферменная конструкция позволяет изменять ряд параметров, контролируемых пользователем, включая ширину, высоту и систему крепления фермы; в сочетании эти параметры, заданные пользователем, формируют конструкцию моста. Поскольку атрибуты связаны, модель изменяется автоматически. Чтобы изменить систему крепления фермы, высоту и ширину настила, пользователю достаточно ввести данные и выбрать направляющую для отображения моста.

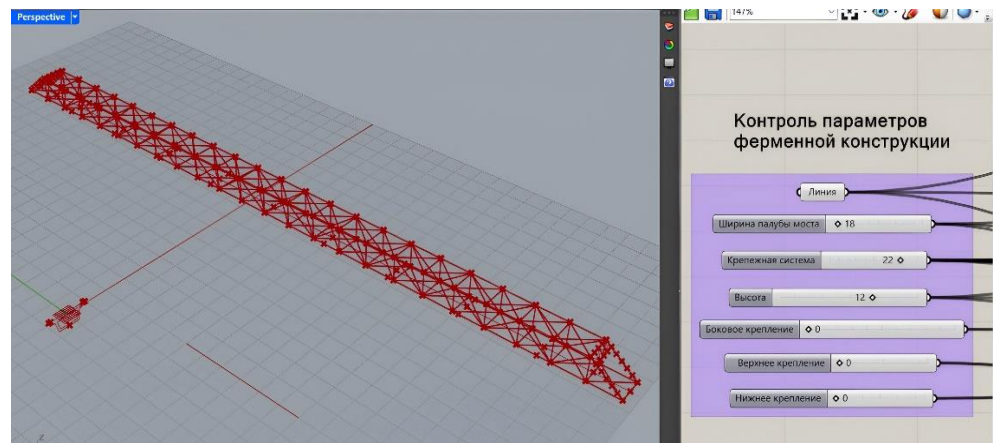


Рис. 2. Параметрическая ферма моста Яданатеинга
Fig. 2. Parametric truss of the Yadanatheinga bridge

При моделировании ферменного моста плагин для Tekla Structures в Grasshopper предоставляет возможность выбора стальных профилей, широко используемых в мостостроении. Выбор профиля и его установка (положение, поворот и атрибуты) также могут быть сгенерированы параметрически. На рис. 3 показан пример стальных профилей и монтажа фермы. Алгоритмы для каждого элемента фермы разработаны с использованием специальных плагинов, и, поскольку атрибуты подключены, модель изменяется автоматически. Затем выбранные стальные профили можно привязать к определенным частям ферменной конструкции, и любые последующие изменения конструкции будут автоматически обновляться в связанных программах (рис. 4).



Рис. 3. Стальные профили из плагина Tekla Structures
Fig. 3. Steel sections from the Tekla Structures plug-in

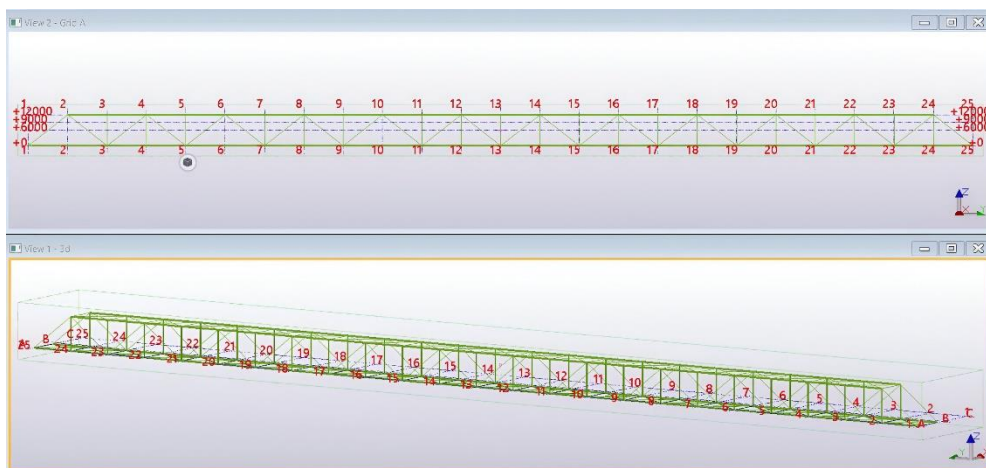


Рис. 4. Изменения в дизайне автоматически обновляются в Tekla Structures
 Fig. 4. Design changes are automatically updated in Tekla Structures

Структурный анализ и дальнейшая детализация в среде BIM

При выборе наиболее подходящего варианта необходимо провести проектные расчеты [7]. При проведении структурного анализа мостов в среде BIM необходимо учитывать несколько ключевых факторов для обеспечения точности и сотрудничества между участниками. Следует применять интегрированный метод моделирования, который включает в себя все ключевые компоненты, надлежащим образом отражающие поведение и проблемы в реальном мире. Также важно использовать исчерпывающие данные о нагрузках, включая различные типы нагрузок, соответствующие отраслевым нормам и стандартам. Геотехнические данные и точные свойства материалов, а также динамический анализ также необходимы для точного анализа реакции моста на динамические нагрузки. Кроме того, возможность беспрепятственного взаимодействия с другими аналитическими инструментами повышает общую эффективность структурного анализа, что приводит к созданию более безопасных и надежных конструкций моста. Результаты анализируются для определения соответствия стандартам безопасности и эксплуатационным характеристикам, что приводит к потенциальным улучшениям конструкции. После завершения строительства BIM-модель обновляется, чтобы отразить условия на этапе строительства, что делает ее полезным инструментом управления активами для будущих работ по техническому обслуживанию и обследованию. Такой комплексный подход не только повышает точность и эффективность проектирования, но и способствует экологичности за счет точного выбора материалов и новых инженерных подходов.

В настоящее время довольно распространено проведение анализа мостовых конструкций с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [8]. Для расчета ферменных мостов на прочность чаще всего используются программные пакеты Tekla Structural Designer, Midas Civil, ABAQUS и др. [9]. Информационную модель из Tekla Structures можно экспортировать в различные форматы для анализа. Прежде чем приступить к расчетам, необходимо определить,

какие части должны быть рассчитаны. Затем модель экспортируется в приложение для расчета и выполнения вычислений. При необходимости проектировщик может внести некоторые изменения и повторить анализ.

Чтобы изучить реакцию пролетного строения моста Яданатеинга, был проведен анализ ферменной конструкции с использованием Midas Civil, который поддерживает ВМ и МКЭ-анализ. Он широко применяется для анализа и проектирования строительных конструкций, таких как мосты, здания и геотехнические работы, позволяя пользователям создавать подробные геометрические модели с использованием заранее определенных шаблонов или импорта САПР. Он анализирует конструкции, разбивая их на более мелкие элементы и решая сложные уравнения, прогнозируя их поведение при различных нагрузках. Кроме того, его интеграция с ВМ обеспечивает совместные рабочие процессы между инженерами и другими заинтересованными сторонами, улучшая коммуникацию и координацию на протяжении всего жизненного цикла проекта.

В рамках настоящего исследования все элементы фермы выполнены из стали, а материалы модели имеют те же характеристики, что и реальные конструкционные материалы. Также могут быть заданы различные свойства материала и нагрузки. Возможно задание различных свойств материалов и типов нагрузок. Собственная масса конструкции (гравитационная нагрузка) рассматривается как постоянная нагрузка (DL), включающая в себя вес основных элементов надстройки. Вес фермы верхнего строения учитывался в расчетах для каждого узла и элемента конструкции (рис. 5). Геометрия модели была основана на исходных строительных чертежах. Граничные условия соответствовали проектным параметрам. В табл. 2 приведены результаты анализа реакции опоры.

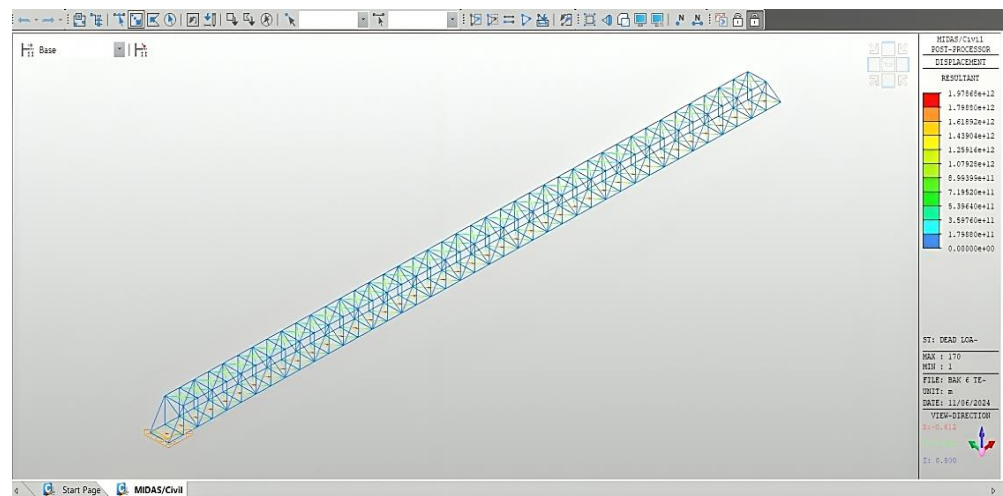


Рис. 5. Результаты расчета моста Яданатеинга в Midas Civil

Fig. 5. FEM of the Yadatheinga bridge in Midas Civil

Для улучшения взаимодействия с программой может быть разработан плагин, использующий открытый API для выполнения расчетов основных конструкций в Tekla и последующего импорта полученных данных в программы анализа

прочности. Плагин автоматически создает различные слои для каждого элемента, позволяя пользователю легко настраивать модель расчета в комплексе прочности. Работа с алгоритмизированным проектированием дает дизайнерам возможность преодолеть ограничения стандартного программного обеспечения САПР и инструментов компьютерной 3D-графики, достигнув уровня сложности, превышающего стандартные возможности взаимодействия человека с цифровыми объектами [10]. Для эффективного использования этих возможностей оператору необходимо обладать знаниями основ языков программирования, таких как C# или Python. Python отличается простотой в освоении и подходит для применения в областях, связанных с машинным обучением. C# более эффективен при работе с широким спектром архитектурных, конструкторских и программных решений, а также при создании собственных приложений.

Таблица 2

Результаты анализа реакции опоры в Midas Civil

Table 2

Support resistance in Midas Civil

Узел	F_x , kN	F_y , kN	F_z , kN	M_x , kN·m	M_y , kN·m	M_z , kN·m
1	428,910	22,856	410,808	0	0	0,198
15	-429,703	213,786	1142,779	0	0	-0,321
29	429,703	213,786	1142,779	0	0	0,321
43	-428,910	22,856	410,808	0	0	-0,198
86	430,611	-20,971	415,412	0	0	-0,186
100	-428,001	-215,671	1138,175	0	0	0,334
114	428,001	-215,671	1138,175	0	0	-0,334

Интеграция современных технологий в проектирование, строительство и эксплуатацию транспортной инфраструктуры позволяет находить эффективные и оптимальные решения на любом этапе жизненного цикла сооружения [11, 12]. Операторы и проектировщики могут снизить вероятность возникновения ошибок, используя плагин для объединения специализированного программного обеспечения с информационным моделированием. Таким образом, применяя подключаемые модули для объединения специализированного программного обеспечения с информационным моделированием, операторы и проектировщики могут свести к минимуму вероятность возникновения ошибок и оптимизировать процесс проектирования. Внедрение дополнительных программ и плагинов облегчает создание информационной модели моста, а также выполнение необходимых вычислений на любом этапе эксплуатации объекта с учетом результатов мониторинга.

Заключение

В проведенном исследовании использовались скрипты визуального программирования в среде Grasshopper для разработки комбинированного подхода

параметрического и информационного моделирования для пролетного строения моста Яданатеинга в Мьянме. Эта модель впоследствии интегрируется с гибкой генеративной моделью в программе Tekla Structures. Расчеты на прочность выполняются путем экспорта информационной модели в Midas Civil. Возможность быстрой разработки и модификации модели путем изменения ее параметров является важной особенностью параметрического моделирования, позволяющей оперативно менять конструкцию на протяжении всего процесса проектирования и строительства. Учет и управление связями между многочисленными элементами дизайна является основным направлением параметрического моделирования в среде BIM. Каждый элемент дизайна при этом способен влиять на другие, что приводит к созданию сети взаимосвязанных параметров.

Создание алгоритмизированного сценария для ферменного моста в среде Grasshopper включает в себя несколько систематических процессов, которые отражают концепции проектирования. Комбинация параметрического и информационного моделирования позволяет пользователю определить оптимальный тип конструкции исходя из представленных требований, что свидетельствует о том, что модель не ограничивается одним вариантом решения. Поскольку традиционное проектирование требует многократного повторения однотипных процедур, внедрение этого подхода может сократить продолжительность процесса проектирования, уменьшить затраты и энергопотребление. Более того, как только модель моста в Grasshopper будет готова, ее можно будет сохранить в качестве шаблона для будущих проектов, связав с базой данных. Такой метод позволяет эффективно создавать мосты сложной геометрии и облегчает оптимизацию проектных параметров, что в конечном счете сокращает время и ресурсы, необходимые для проектирования и анализа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вин Ко Мьинт Ту, Смирнова О.В. Особенности влияния технического состояния транспортных сооружений на обеспечение транспортной безопасности грузоперевозок Республики Мьянма // Интеллектуальные транспортные системы : материалы III Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 547–554. DOI: 10.30932/9785002446094-2024-547-554
2. Mya San Wai. Robustness Evaluation of Long Span Truss Bridge Using Damage Influence Lines : Doctoral dissertation. Kyoto, Japan, 2020. DOI: 10.14989/doctor.k22417
3. 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, Russia, 2017. P. 773–775. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8085940>
4. Смирнова О.В., Чжо Зин Аунг. Возможности адаптации программы Tekla при проектировании элементов металлических мостов // Транспортное строительство. 2017. № 10. С. 20–21. DOI: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34957184>
5. Sardone L., Greco R., Fiore A., Moccia C., Tommasi 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 // The 1st International Conference on Optimization-Driven Architectural Design (OPTARCH 2019). P. 497–504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.264>
6. Вин Ко Мьинт Ту. Возможности и преимущества использования параметрических скриптов в информационном моделировании мостовых сооружений // Транспортное строительство. 2024. № 2. С. 27–29. DOI: https://tc-journal.ru/issues/tc_issue-02_2024.php
7. Перельмутер А.В., Криксунов Э.З., Карпиловский В.С., Маляренко А.А. Интегрированная система для расчета и проектирования несущих конструкций зданий и сооружений SCAD

- Office. Новая версия, новые возможности // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2 (4). С. 10–12. DOI: <https://engstroy.spbstu.ru/article/2009.4.1/>
8. Valentina B., Laura S., Luis A., Bohórquez G., Davide M., Giuseppe C.M., Marco D. Algorithm-Aided Design for Composite Bridges // *Buildings*. 2023. V. 13. I. 4. P. 865. DOI: <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/4/865>
 9. Smirnova O.V., Kyaw Zin Aung. The Adaptation of Information Modeling Software for the Metal Truss Bridges Design and Utilize Bridges // *Proceedings of the IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS)*. St. Petersburg, Russia, 2018. P. 491–494. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8525130>
 10. Rahinah Ibrahim, Farzad Pour Rahimian. Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design // *Automation in Construction*. 2010. V. 19. I. 8. December. P. 978–987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.003>
 11. Gaoa G., Liua Y., Lina P., Wang M., Gua M., Yonga J. BIM Tag; Concept-based automatic semantic annotation of online BIM product resources // *Advanced Engineering Informatics*. 2017. № 31. P. 48–61. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474034615001068>
 12. Xichen Chen, Alice Chang-Richards, Anthony Pelosi, Yaodong Jia. Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review // *Engineering Construction & Architectural Management*. 2022. V. 29. № 8. P. 3181–3209. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>

REFERENCES

1. Win Ko Myint Thu, Smirnova O.V. Influence of Technical Conditions of Transport Facilities on Cargo Transportation Safety in the Republic of Myanmar. In: *Proc. 3rd Int. Sci. Conf. 'Intelligent Transport Systems'*, Moscow. May 30, 2024, Pp. 547–554. DOI: 10.30932/9785002446094-2024-547-554 (In Russian)
2. Mya San Wai. Robustness Evaluation of Long Span Truss Bridge using Damage Influence Lines. DSc Thesis. 2020, Kyoto, Japan. DOI: 10.14989/doctor.k22417
3. Smirnova O.V., Smirnov K.V. Creating Automation Tools with BIM-Programs for Designing Elements of Metal Bridges. In: *Proc. 2017th Int. Conf. 'Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies'*, Saint-Petersburg, Russia, 2017. Pp. 773–775. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8085940>
4. Smirnova O.V., Kyaw Zin Aung. Adaptation of Tekla Program to Design of Metal Bridge Elements. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2017; (10): 20–21. DOI: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34957184> (In Russian)
5. Sardone L., Greco R., Fiore A., Moccia C., Tommasi 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. In: *Proc. 1st Int. Sci. Conf. on Optimization-Driven Architectural Design*, 2019. Pp. 497–504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.264>
6. Win Ko Myint Thu. Parametric Scripts in Information Modeling of Bridges. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2024; (10): 27–29. DOI: https://tc-journal.ru/issues/tc_issue-02_2024.php (In Russian)
7. Perelmuter A.V., Kriksunov E.Z., Karpilovsky V.S., Malyarenko A.A. SCAD Office Integrated System for Calculation and Design of Load-Bearing Structures of Buildings. New Version, New Features. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2009; (2): 10–12. (In Russian)
8. Valentina B., Laura S., Luis A., Bohórquez G., Davide M., Giuseppe C.M., Marco D. Algorithm-Aided Design for Composite Bridges. *Buildings*. 2023; 13 (4): 865. <https://doi.org/10.3390/buildings13040865>
9. Smirnova O.V., Kyaw Zin Aung. The Adaptation of Information Modeling Software for the Metal Truss Bridges Design and Utilize Bridges. In: *Proc. IEEE Int. Conf. 'Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies'*. Saint-Petersburg, Russia, 2018. Pp. 491–494. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8525130>
10. Rahinah Ibrahim, Farzad Pour Rahimian. Comparison of CAD and Manual Sketching Tools for Teaching Architectural Design. *Automation in Construction*. 2010; 19 (8): 978–987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.003>

11. Gaoa G., Liua Y., Lina P., Wanga M., Gua M., Yonga J. BIM Tag; Concept-Based Automatic Semantic Annotation of Online BIM Product Resources. *Advanced Engineering Informatics*. 2017; (31): 48–61. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474034615001068>
12. Xichen Chen, Alice Chang-Richards, Anthony Pelosi, Yaodong Jia. Implementation of Technologies in the Construction Industry: A Systematic Review. *Engineering Construction & Architectural Management*. 2022; 29 (8): 3181–3209. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>

Сведения об авторах

Смирнова Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Российский университет транспорта (РУТ/МИИТ), 127055, г. Москва, ул. Образцова, 9, o_v_smirnova@mail.ru

Вин Ко Мьинт Ту, аспирант, Российский университет транспорта (РУТ/МИИТ), 127055, г. Москва, ул. Образцова, 9, winkomyinthu@mail.ru

Authors Details

Olga V. Smirnova, PhD, A/Professor, Russian University of Transport, 9, Obraztsov Str., 127055, Moscow, Russia, o_v_smirnova@mail.ru

Win Ko Myint Thu, Research Assistant, Russian University of Transport, 9, Obraztsov Str., 127055, Moscow, Russia, winkomyinthu@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.11.2024
Одобрена после рецензирования 22.11.2024
Принята к публикации 26.11.2024

Submitted for publication 08.11.2024
Approved after review 22.11.2024
Accepted for publication 26.11.2024