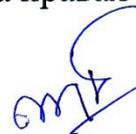


Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))

На правах рукописи



ЧЖО ЗИН АУНГ

**ТЕХНОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МОСТОВ В РЕСПУБЛИКЕ МЬЯНМА**

05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Смирнова Ольга Владимировна

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ 4 | |
| ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВ | 11 |
| 1.1 Основные понятия технологии информационного моделирования | 11 |
| 1.2 Обзор методов и программного обеспечения для технологии информационного моделирования мостов | 21 |
| 1.3 Обзор информационных моделей мостов, созданных в мире | 27 |
| ГЛАВА 2 РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 41 |
| 2.1 Процесс информационного моделирования элементов моста с помощью программы Tekla | 41 |
| 2.2 Выбор элементов для создания информационной модели проектируемого моста | 52 |
| 2.3 Формирование узловых прикреплений проектируемых мостов | 56 |
| ГЛАВА 3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ | 60 |
| 3.1 Методы проведения прочностного анализа мостовых конструкций с помощью встроенных приложений | 60 |
| 3.2 Выполнение прочностного анализа мостовых конструкций с помощью сторонних приложений | 61 |
| ГЛАВА 4 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВОГО СООРУЖЕНИЯ | 68 |
| 4.1 Методика оценки надёжности элементов эксплуатируемых мостов на основе вероятностной модели | 68 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.2 | Интеграция результатов мониторинга в информационные модели мостов с помощью технологии разработки проблемно-ориентированных плагинов..... | 71 |
| 4.1.1 | Алгоритм расчёта оптимального интервала ремонта элементов металлических ферм мостовых сооружений на основе мониторинга..... | 73 |
| 4.1.2 | Проблемно-ориентированный плагин для расчёта оптимального интервала ремонта элементов металлических ферм мостовых сооружений на основе мониторинга..... | 75 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 78 |
| | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 80 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ А | 87 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ Б..... | 106 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ В | 107 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Мостовые сооружения являются важными объектами транспортной инфраструктуры, имеющими существенное значение для развития страны. К ним предъявляются повышенные требования на всех этапах их жизненного цикла. Транспортная инфраструктура является важной составляющей современных городов и районов. Растущая степень коммуникации и транспортных потоков предъявляет все более высокие требования к времени проектирования объектов инфраструктуры, качеству и скорости их строительства, а также к эффективности их эксплуатации.

Существует большое количество инструментов, помогающих добиться высоких результатов на каждом из указанных этапов (проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция), но наиболее эффективным является применение технологий информационного моделирования (BIM – Building Information Modeling).

Степень разработанности темы исследования. В строительстве зданий данные технологии широко и успешно используются более 15 лет. В строительстве мостов информационное моделирование также расширяет сферу своего применения.

Развитие технологии информационного моделирования является наиболее эффективным средством достижения высоких скоростей строительства и повышения надежности мостовых сооружений в процессе эксплуатации.

Большой вклад в решение проблем надежности транспортных конструкций внесли ученые: Е.С. Ашпиз, Ю.А. Быков, С.А. Бокарев, В.В. Болотин, В.А. Гарбер, В.Б. Зылёв, И.И. Иванченко, В.М. Круглов, Е.Н. Курбацкий, С.Я. Луцкий, В.В. Пассек, Г.С. Переселенков, В.Е. Меркин, В.Б. Мещеряков, В.О. Осипов, В.Д. Потапов, Т.В. Шепитько, Е.П. Феоктистова, А.А. Цернант и многие другие.

Повысить эффективность использования разработанных и используемых сегодня методик можно с помощью технологии информационного моделирования, которая позволяет интегрировать их в информационные модели

мостовых сооружений.

Использование прогрессивной технологии информационного моделирования при проектировании, эксплуатации и реконструкции мостов в современных условиях позволит сократить сроки проектирования, уменьшить количество ошибок и согласований на данном этапе, оптимизировать эффективность расчетов и повысить надежность эксплуатируемых мостов, а также может дать большой экономический эффект. Технология информационного моделирования позволяет организовать совместную работу на любом этапе из любой точки мира.

Выбор темы диссертации обусловлен тем, что в настоящее время в Республике Мьянма технология информационного моделирования в мостовых проектных организациях не применяется. Проекты выполняются в организациях Южной Кореи, Японии или Китая. Внедрение технологии информационного моделирования позволит создать эффективные конкурентноспособные проектные организации, а также наладить дистанционное взаимодействие с фирмами-разработчиками из других стран.

Целью диссертационной работы является применение технологии информационного моделирования при проектировании мостовых конструкций, использовании технологии информационного моделирования для прочностного анализа мостовых конструкций, применении данной технологии на стадии эксплуатации мостового сооружения. В том числе возможности технологии информационного моделирования для расчёта надёжности эксплуатируемых мостов и интеграции результатов мониторинга в информационные модели мостов с помощью технологии разработки проблемно-ориентированных плагинов.

Для реализации поставленной цели в диссертационной работе решаются *задачи*:

- анализ эффективности технологии информационного моделирования в строительстве и в мостостроении, выбор программного обеспечения для информационного моделирования мостов;

- применение технологии информационного моделирования отдельных элементов и узловых прикреплений проектируемых мостов;
- формирование полной информационной модели эксплуатируемого моста в Республике Мьянма;
- повышение качества на стадии проектирования мостовых конструкций с помощью расширения функционала программ, используемых при технологии информационного моделирования;
- выполнение прочностных расчетов мостовых металлических ферм с использованием экспорта информационной модели в прочностные расчётные комплексы;
- оценка надёжности эксплуатируемых мостов с использованием технологии информационного моделирования;
- интеграция результатов мониторинга в информационные модели мостов с помощью технологии разработки проблемно-ориентированных плагинов.

Объектом исследования является технология информационного моделирования в строительстве.

Предметом исследования является технология информационного моделирования в мостостроении на этапе проектирования и эксплуатации мостовых сооружений.

Научная новизна работы заключается в использовании прогрессивной технологии информационного моделирования мостовых конструкций на этапе проектирования, эксплуатации и реконструкции мостов, а также интеграции существующих методик оценки надёжности в информационные модели мостов, созданных с помощью указанной технологии.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в том, что предлагается использование новой технологии информационного моделирования, применение которой повысит качество проектных решений и точность расчетов на этапе проектирования мостовых сооружений. На этапе эксплуатации мостов использование информационных моделей, созданных с помощью новой технологии, будет способствовать

повышению надежности и долговечности сооружений, благодаря интеграции результатов мониторинга в информационную модель. При реконструкции мостовых сооружений применение технологии информационного моделирования позволит повысить экономическую эффективность и экологичность процесса реконструкции.

Методология и методы исследования. В работе использованы методы информационного моделирования конструкций, теории вероятностей, математической статистики, теории надежности, метод конечных элементов. Достоверность и обоснованность применяемых методов подтверждается их широким использованием в различных сферах деятельности.

Положения, выносимые на защиту:

1. обоснование применения технологии информационного моделирования для мостовых конструкций;
2. реализация технологии информационного моделирования при проектировании мостовых конструкций: создание семейства опор, главных ферм и полной информационной модели моста;
3. применение технологии информационного моделирования для создания различных видов сечений и болтового соединения узлов металлических ферм;
4. метод экспорта элементов моста в прочностные расчётные комплексы из информационной модели на основе создания плагинов;
5. расчет надежности мостовых элементов на основе интеграции результатов мониторинга в информационную модель с помощью плагинов.

Достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается корректностью поставленных задач, достоверностью примененных математических методов исследования, использованием современной технологии, а также тем, что технология информационного моделирования эффективно применяется в строительстве [31,33,34] и в машиностроении при создании объектов повышенной сложности [32].

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались на Всероссийских и международных конференциях (приложение В):

- Научно-практическая конференция «Неделя науки» (Москва, МИИТ, 2016, 2017);
- Всероссийская межвузовская конференция «Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки» (г.Москва, МИИТ, 2016, 2017);
- Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути XV международная научно-техническая конференция (Чтения, посвящённые памяти профессора Г.М. Шахунянца) (г.Москва, РУТ (МИИТ), 2018);
- Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Безопасность транспорта и сложных технических систем глазами молодежи» (г.Иркутск, ИГУПС, 2018);
- Международная конференция «The 6th International Conference on Collaboration in Research and Education for Sustainable Transport Development» (Вьетнам (г.Хо Ши Мин), 2018);
- Международная конференция «International Academics Conference on Civil and Structural Engineering (IACCSE)» (Сингапур (Singapore), 2018);
- Международная конференция «Менеджмент качества, транспортная и информационная безопасность, информационные технологии» (IT&QM&IS–2017) (Санкт–Петербург, 2018).

Внедрение результатов исследования. Проведенные в диссертационной работе исследования были использованы для выбора стратегии информационного моделирования мостовых конструкций в ОАО «Институт Гипростроймост». Разработанное в ходе исследования программное обеспечение используется в составе системы проектирования узлов мостовых конструкций. Их практическое использование документально подтверждено (приложение Б).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 10 статьях (из них в соавторстве 7), в том числе 4 статьи в

рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 работа опубликована в рецензируемом научном журнале, входящем в международную базу данных SCOPUS, а также 5 работ в материалах Всероссийских и международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации 112 страниц, в том числе 54 рисунка и 2 таблицы. Список литературы включает 63 наименования.

В первой главе рассматриваются методы и программное обеспечение для технологии информационного моделирования мостов, приводятся основные понятия технологии информационного моделирования. Также в первой главе дан обзор информационных моделей мостов, созданных в мире.

Во второй главе изложен процесс информационного моделирования элементов моста с помощью программы Tekla, и процесс выбора элементов и материалов для создания информационной модели проектируемого моста. Изложен алгоритм формирования отдельных элементов и узловых прикреплений проектируемых мостов, а также описан пример нового семейства опор моста.

В третьей главе описаны методы и форматы для экспорта информационной модели в расчётные комплексы, приведен пример реализации прочностного расчёта мостовой конструкции, полученной с помощью технологии информационного моделирования.

В четвертой главе приведен пример расчёта надёжности эксплуатируемых мостов с использованием технологии информационного моделирования на основе алгоритма расчёта оптимального интервала ремонта элементов металлических ферм мостовых сооружений и интеграции результатов мониторинга в информационную модель моста с помощью технологии разработки проблемно-ориентированных плагинов.

В приложении А приведен программный код разработанных плагинов. В приложении Б приведены документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационного исследования. В приложении В приведены документы,

подтверждающие апробацию результатов диссертационного исследования.

Личный вклад автора в проведенное исследование. Научные результаты, представленные в диссертации по вопросам адаптации программных комплексов при проектировании элементов металлических мостов, систематизации и развитии практической составляющей, получены совместно со Смирновой О.В. Результаты исследования изложены в работах [14, 57, 58]. В указанных опубликованных работах личный вклад соискателя составляет не менее 50 %.

Непосредственно автором разработаны проблемно-ориентированные плагины для создания информационных моделей мостовых сооружений, разработана технология интеграции результатов мониторинга в информационную модель мостового сооружения.

Автор лично участвовал во всех этапах апробации и практической реализации результатов научных исследований, представленных в диссертации, осуществлял обработку и интерпретацию полученных результатов.

Автор благодарит доктора технических наук, профессора Пискунова А.А., доктора технических наук, профессора Полякова В.Ю. и кандидата технических наук Нестерова И.В. за полезные замечания, высказанные им в ходе работы над диссертацией. Автор выражает признательность кандидату технических наук Феоктистовой Е.П. за ценные консультации при обсуждении результатов расчетов.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВ

1.1 Основные понятия технологии информационного моделирования

Развитие строительства в современных условиях требует эффективной обработки огромного количества информации, как на стадии проектирования объектов, так и в процессе их возведения и эксплуатации. Достигнуть поставленных задач возможно только с помощью тесной интеграции прогрессивных строительных технологий с высокопроизводительными информационными комплексами. Существует большое количество инструментов, помогающих добиться высоких результатов на каждом из указанных этапов (проектирование, строительство, эксплуатация), но наиболее эффективным является применение технологий BIM (Building Information Modeling) [2].

Информационное моделирование возникло в проектировании жилых зданий, но очень скоро расширило область применения на весь жизненный цикл, а затем успешно шагнуло в промышленное строительство и в машиностроение. В этих областях данные технологии широко и успешно используются более 15 лет [3].

Это новый подход к проектированию – переход от автоматизации создания двумерных чертежей конструкции к созданию трехмерной модели объекта с заполненной базой данных по каждому элементу. Такой подход позволяет иметь на каждом этапе жизненного цикла строительного объекта полную и достоверную информацию. Это повышает точность расчетов, позволяет выявить ошибки на этапе проектирования. Технология информационного моделирования способствует повышению качества строительства при сокращении сроков, обеспечивает принятие оптимальных проектных решений. На этапе эксплуатации объекта существует возможность обновления информации по каждому элементу

конструкции, что помогает принятию решения о состоянии объекта. Сокращение сроков проектирования и строительства [26], в свою очередь, способствует более эффективному использованию финансовых средств.

Технология информационного моделирования позволяет составить оптимальный график строительства и расположения строительной техники на площадке [17,19, 43]. Использование этого инструмента позволяет застройщику соблюдать и экологические требования.

Информационная модель – это структурированная информация о проектируемом, существующем или утраченном строительном объекте, предназначенная для решения конкретных задач, которую можно обработать на компьютере.

Кроме того, эта информация:

- определенным образом взаимосвязанна, согласованна и скоординированна;
- имеет геометрическую привязку;
- годится для расчётов и количественного анализа;
- допускает необходимые обновления.

Когда говорят об информационной модели строительного объекта, то имеют в виду что это некоторая база данных об этом объекте, которой управляет специальная компьютерная программа или комплекс специальных программ.

Информация, содержащаяся в информационной модели может использоваться для решения следующих задач:

- выбор проектных решений,
- расчет узлов и компонентов объекта (здания),
- прогнозирование эксплуатационных качеств объекта,
- создание проектной документации,
- составление смет и строительных планов,
- заказ и изготовление материалов и оборудования,
- управление возведением объекта,
- управление эксплуатацией в течение всего жизненного цикла объекта,
- управление строительным объектом как коммерческим,

- проектирование и управление ремонтом или реконструкцией,
- снос объекта и т.п.

При использовании подхода к проектированию строительных объектов с помощью информационного моделирования сбор, хранение и обработку всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации со всеми взаимосвязями рассматривают как единый комплекс [11].

Основные составляющие информационного моделирования, которые определяют успешность применения данной технологии [7], это:

- правильное определение взаимосвязей,
- точная классификация,
- хорошо организованное структурирование данных,
- актуальность и достоверность данных,
- интерфейс управления данными,
- возможность передавать информацию и результаты её анализа во внешние системы.

Еще одним достоинством информационного моделирования является возможность работать со всей моделью объекта, используя любой вид, а также возможность удаленной работы с моделью.

При использовании технологии информационного моделирования все участники – от заказчика до исполнителя – должны иметь представление о требуемой степени детализации создаваемой модели (рисунок 1).

Степень детализации описывается рядом терминов:

- LOD (Level of Development – описание минимального уровня данных по размерам, пространственному положению, внешнему виду, количеству и качеству, входящих в состав информационной модели;
- LoI (Level of Information) – описание минимального уровня информационного заполнения элементов, входящих в состав информационной модели;
- Протокол модели / инструкция – документ, содержащий всю необходимую информацию по организационному содержанию модели [6].



Рисунок 1 – Уровни детализации информационной модели

Использование LOD в BIM позволяет исполнителям подготовить и предоставить необходимый и достаточный объем графической и информационной составляющей модели на разных стадиях проектирования. LOD определяет пять уровней проработки элемента: от концептуального до точного соответствия реальному образцу. При этом элемент, соответствующий какому-то определенному LOD, соответствует всем требованиям предыдущих уровней проработки. Например, для элементов, разработанных под LOD 300, выполняются все требования LOD 200 и LOD 100.

LOD 100 – простейшая категория, необходимая для разработки концепций. На выходе – общая концепция проектируемого объекта, его примерная форма, габариты и условное положение в пространстве.

LOD 200 – на данном этапе определяют условную форму и размеры, уточняют позиционирование объекта на территории. Объект принимает готовую форму, можно посчитать количество основных элементов, но информации еще недостаточно.

LOD 300 – на данном этапе имеются полные характеристики всех

конструктивных элементов, можно выбрать из модели всю необходимую информацию для выпуска проектной документации, при этом исключаются ошибки в подсчете, так как специфицируются все и только те элементы, которые присутствуют в модели. Процесс сбора данных происходит мгновенно и точно (этот результат практически невозможен при классической схеме проектирования) . Также имеются все необходимые данные по смежным разделам. При внесении любых корректировок в модель спецификации изменяются автоматически.

LOD 400 – на выходе имеется полная модель объекта с высокой степенью детализации. Проработан каждый узел, исключены пересечения инженерных систем. На этом этапе в модель вносится вся информация об использованных конструкциях, оборудовании и материалах.

LOD 500 – этот уровень проработки модели предназначен для передачи в службу эксплуатации. Это наиболее полная модель со всеми фактическим размерами, четкими связями, привязками и максимально полными данными по элементам модели [8, 9].

При использовании технологии информационного моделирования принципиальные решения по проектированию по-прежнему остаются в руках человека, а специальные программы выполняют техническую функцию по поиску и хранению, по быстрой обработке, анализу или передаче информации. Очевидно, что без использования специальных технологий человек не смог бы справиться в таком объеме информации и выполнить качественный анализ в отведенные сроки.

В качестве примера использования технологии информационного моделирования можно привести проект, реализованный в Гонконге [18]. В 2008 году в Гонконге был сдан в эксплуатацию спроектированный за год и построенный за два года 308-метровый небоскреб One Island East (рисунок 2).



Рисунок 2 – Небоскреб One Island East

Его единая информационная модель использовалась для нахождения всех нестыковок и коллизий, появившихся при проектировании этого сложнейшего здания большим коллективом различных специалистов. По данным генподрядчика, фирмы Swire Properties Ltd, в процессе работы над проектом было своевременно обнаружено и устранено порядка 2000 таких ошибок (рисунок 3). В применявшейся тогда программе Digital Project [33], как и во всех современных BIM-комплексах, поиск коллизий является следствием согласованности информации и происходит автоматически, а вот для их устранения уже требуется специалист-проектировщик.

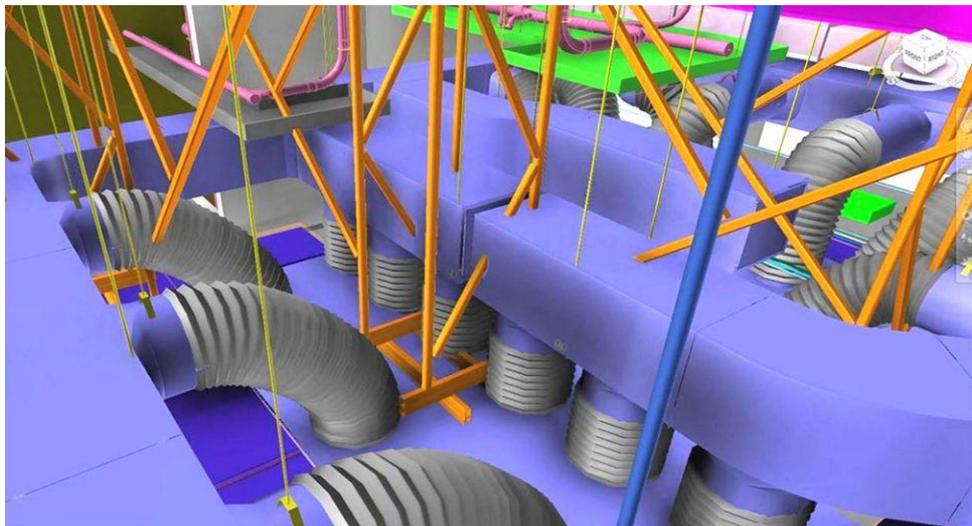


Рисунок 3 – Пример коллизий – пересечение несущих конструкций и коробов воздуховодов

Небоскреб One Island East также продемонстрировал еще одну сильную сторону информационного моделирования – экономию средств: вместо запланированных 300 миллионов долларов он обошелся в 260 миллионов долларов.

Остановимся подробнее на способах организации работы с моделью. Возможно несколько вариантов: иметь единый файл модели или связанное множество отдельных файлов. Способ организации работы зависит от используемого программного обеспечения, от вычислительных ресурсов компьютерной техники и от особенностей взаимодействия исполнителей проекта.

Обычно части модели, которые относятся к разным тематическим областям, делают автономными файлами. Например, электрику не нужно видеть в своем файле все нагрузки и связи строительных конструкций, ему достаточно представлять габариты конструкции. Кроме того, если ведется работа над большим проектом, информационная модель будет иметь такие размеры, что работать с ней как с единым файлом будет неудобно или невозможно. В этом случае модель делят на части, организуя их правильную стыковку.

В примере на рисунке 4 представлен проект подземной застройки (7 этажей в глубину) и общей реконструкции площади Свердлова в Новосибирске [50].

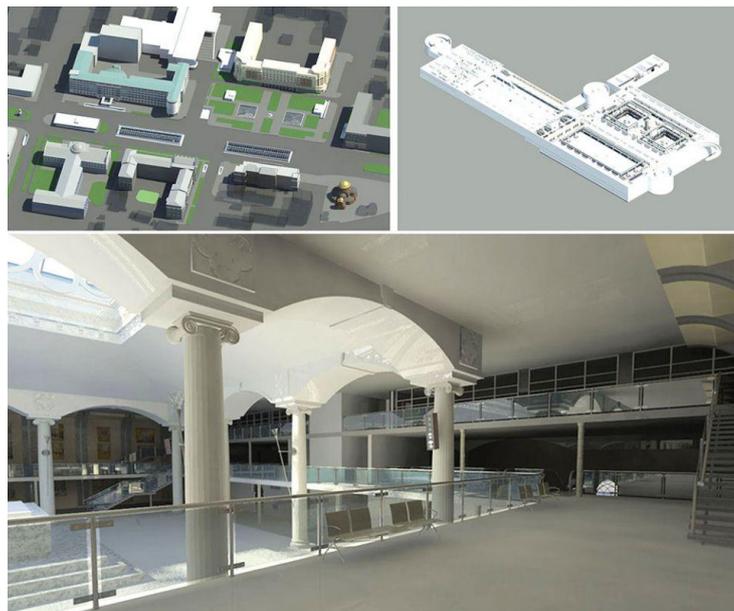


Рисунок 4 – Проект реконструкции площади Свердлова в Новосибирске. Работа выполнена в Revit Architecture (Софья Куликова, Сергей Ульрих).

Данный проект содержал около 800 файлов семейств, вставленных в эту модель, и 48 файлов, формирующих единую модель. В этом случае разделение информационной модели на согласованные логические части позволило эффективно работать с проектом на обычном персональном компьютере. Такой способ наиболее распространен в настоящее время.

В то же время, если объем файла небольшой, и вычислительные мощности позволяют, нет необходимости делить информационную модель на несколько частей. В примере на рисунке 5 общий файл полностью представлял единую архитектурно-конструкторскую модель храма и после определённой профилактической чистки имел объём 50 Мб, и хорошо обрабатывался на обычном компьютере [49, 50].

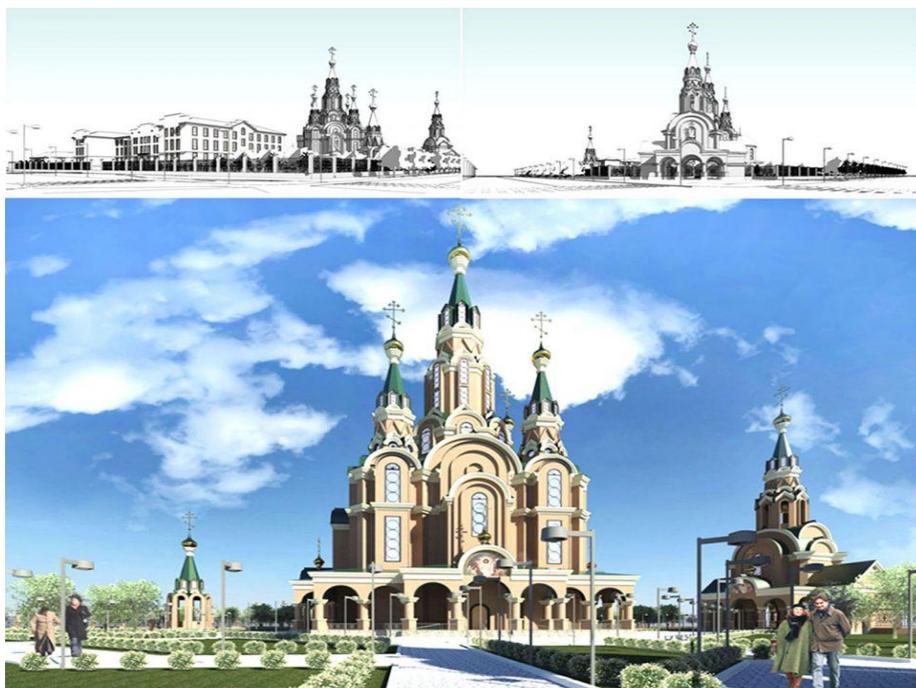


Рисунок 5 – Проект православного храма в Новосибирске. Работа выполнена в Revit Architecture (Евгения Чуприна)

Некоторые BIM-программы, например Bentley AECOsim Building Designer, для решения подобной задачи сразу записывают единую модель в несколько тематически разделённых ассоциированных файлов. Другие программы оставляют это на самостоятельную реализацию пользователями.

Технология информационного моделирования позволяет также создавать

информационную модель на разных платформах (в программах с разными форматами файлов), а потом собрать общую модель в специальных программах (Autodesk NavisWorks, Bentley Navigator или Tekla BIMsight) [14, 15]. Но в этом случае вносить изменения можно только через программу, в которой часть создавалась, и изменения не приводят к автоматическому изменению в других частях модели. Модели такого типа называются «федерированными». Использование таких моделей целесообразно только для поиска коллизий, составления спецификаций или для визуализации.

Еще один вариант создания информационной модели – интегрированная модель. Модели такого типа собираются из разных частей, сохраненных в открытом формате IFC. Этот подход реализует концепцию OpenBIM, но так же не обеспечивает высокую степень ассоциации частей модели.

Очень интересным является подход, реализующий гибридную модель. Этот тип модели объединяет трехмерные и ассоциированные с ними двумерные чертежи или текстовые документы, ссылки на первоисточники.

Когда логично применять гибридную модель? Если в организации имеется разработанный давно альбом типовых узлов, которые применяются в проекте, то можно обойтись без перевода этих узлов в трехмерный вид и перегружать ими файл с общей моделью. Достаточно будет в соответствующих метаданных информационной модели поставить ссылку (гиперссылку) на нужные листы из альбома. В этом случае сами листы могут храниться в векторном или в растровом виде. Также любую документацию, которая является многостраничным текстовым документом и не может быть промоделирована, прикрепляют с помощью гиперссылок к соответствующим элементам модели.

В качестве примера гибридной модели приведем работу по виртуальному созданию облика Страстного монастыря (почти полностью разрушен в 1937 году) в Москве [50], выполненную на кафедре Исторической информатики МГУ (рисунок 6).

Информационное моделирование в данном случае проводилось с исторической точки зрения. От воссоздаваемого внешнего облика зданий

требовалась историческая достоверность, которая подтверждалась прикрепляемыми ссылками на документы. При этом внутренняя структура зданий не являлась предметом исследования, но при желании на следующих этапах моделирования можно добавить и внутренние элементы.



Рисунок 6 – Созданная в МГУ информационная модель Страстного монастыря

При степени проработки модели до уровня детализации LOD 500 созданная информационная модель может быть передана организации, обслуживающей объект. Такая очень полезна для уже существующих объектов, поскольку содержит всю необходимую информацию о них (для решения конкретных поставленных задач), а задача обслуживающих организаций грамотно этой информацией распоряжаться (рисунок 7).



Рисунок 7 – Работа с информационной моделью на этапе эксплуатации

Проведение мониторинга технического состояния строительного объекта позволяет оперативно контролировать и анализировать данные для правильного и эффективного управления.

В настоящее время технология информационного моделирования широко используется в гражданском проектировании и постепенно внедряется в транспортную инфраструктуру и мостостроение. К сожалению, этот процесс идет медленно из-за отсутствия единого BIM-стандарта для линейных объектов [21].

1.2 Обзор методов и программного обеспечения для технологии информационного моделирования мостов

Технология информационного моделирования мостов требует специального программного обеспечения, хорошо работающего с линейными объектами. В качестве наиболее удобных можно выделить два решения: программный комплекс OpenBridge Modeler компании Bentley и Tekla Structures компании Trimble [28].

Каждый программный продукт имеет свои особенности. Например, OpenBridge Modeler реализует построение информационных моделей мостов в рамках общего проекта транспортных коммуникаций. Создание информационной модели идет с учетом ландшафта, дорог, подъездных путей и другой инфраструктуры. Это достигается путем прямого использования других приложений Bentley для строительства.

Программа предлагает простое управление проектом на протяжении всего жизненного цикла с помощью встроенной взаимосвязи между компонентами моста и DGN-моделями через ссылки (DGN – сокращение от «design»; можно конвертировать в формат DWG) [22, 23].

Легко реализуется формирование отчетов по геометрии моста, а также отчетов о секциях моста, монтаже верхних сооружений и балочных опор, об объеме работ и сметы. При необходимости можно вывести двумерные чертежи для всех планов, перекрытий, необходимых разрезов, видов и элементов.

Решение компании Bentley позволяет выполнять анализа мостовых конструкций с помощью других приложений Bentley. Например, можно выполнять расчеты нагрузки и устойчивости, рассчитывать предельные нагрузки и допустимые напряжения с помощью модуля LARS Bridge (рисунок 8).

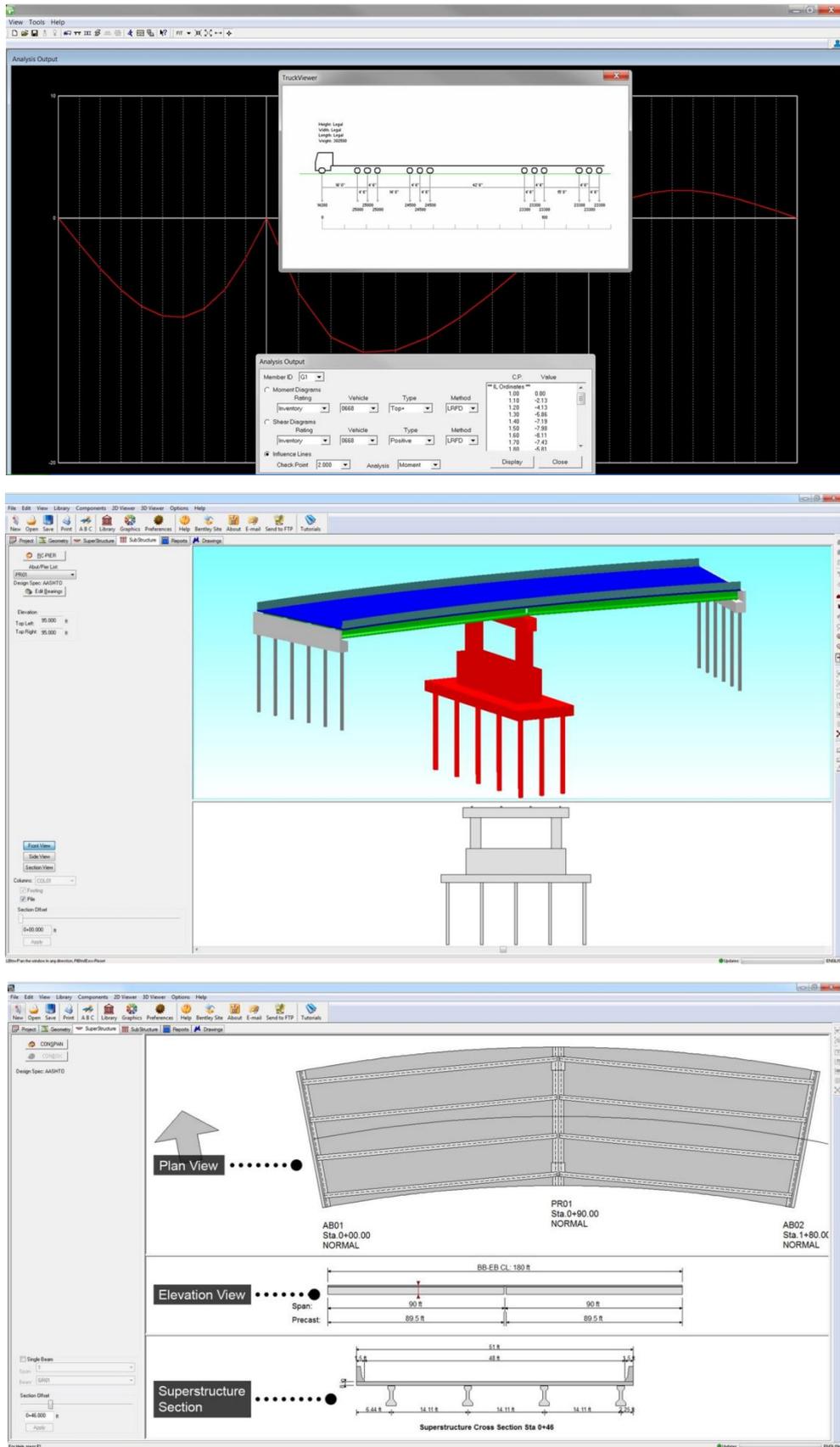


Рисунок 8 – Проектирование и анализ конструкций моста в LARS Bridge

В качестве недостатка можно отметить очень высокую стоимость программного обеспечения компании Bentley и сложный интерфейс пользователя. Для работы с программными продуктами данной компании от проектной организации потребуются большие финансовые вложения и длительное обучение персонала. Для крупных компаний, обладающими достаточными финансовыми ресурсами, решения, предлагаемые Bentley, являются хорошим выбором для эффективного использования технологии информационного моделирования.

В качестве альтернативы можно рассматривать программное обеспечение Tekla Structures компании Trimble. Оно позволяет создавать и управлять информационными моделями не только зданий, но и сооружений любой сложности из любого материала. Информационные модели, созданные в Tekla Structures можно использовать на всех этапах строительства, включая производство, монтаж и управление строительными работами.

Tekla Structures позволяет создавать информационные модели конструкций из металла, сборных и монолитных железобетонных. Можно создавать модели конструкций из стали и бетона. Программу можно использовать для создания детальных информационных моделей любых металлических конструкций, а также для получения необходимых данных для производства и монтажа.

Программные решения Tekla Structures позволяют обмениваться моделями и чертежами с большинством архитектурных и промышленных программ, например, Archicad, ADT, Revit Building, Nemetschek Allplan и Bentley Architecture, причем, с продуктами Bentley возможен прямой обмен в обе стороны – без потери информации и без дополнительных преобразований. Возможен обмен моделями со всеми программами, поддерживающими формат IFC, DGN или DWG (рисунок 9).

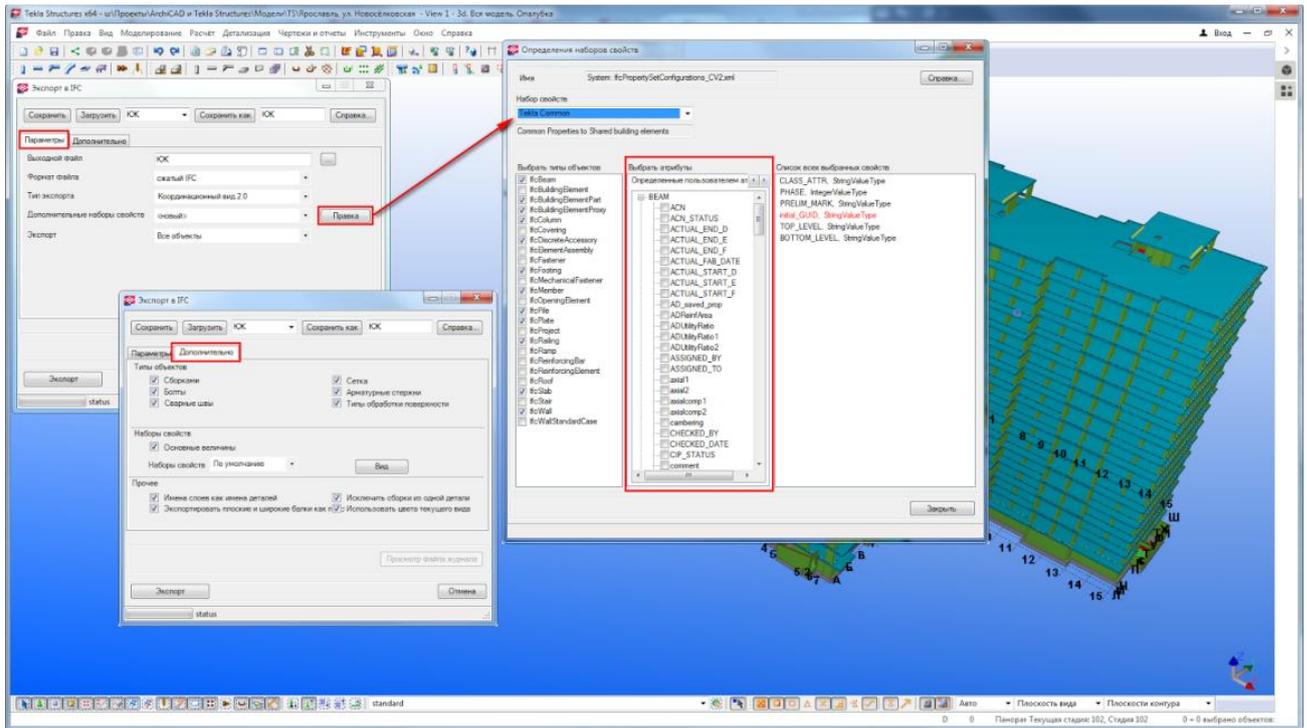


Рисунок 9 – Настройка экспорта модели в формат IFC

Как и другие BIM программные комплексы, Tekla Structures позволяет провести расчет и анализ информационно-модельной модели. Расчетная схема генерируется после создания физической модели и прикладывания нагрузок, как только запускается процесс анализа. В Tekla Structures существует возможность создавать несколько расчетных схем из одной и той же физической модели для запуска различных видов анализа. Существует возможность определить, какие объекты должны быть включены в модель анализа. Например, можно рассчитать простую раму без учета типа соединения, или учитывать тип узла и деталей в нем (рассчитать пластины, болты и т.д.). После создания расчетной схемы приступают к сбору нагрузок и формированию расчетных сочетаний (рисунок 10).

В программе предусмотрена возможность прикладывать сосредоточенные нагрузки, линейно и нелинейно распределенные нагрузки, тепловую и ветровую нагрузки. После приложения всех необходимых нагрузок создаются расчетные сочетания усилий (этот процесс может быть автоматизирован).

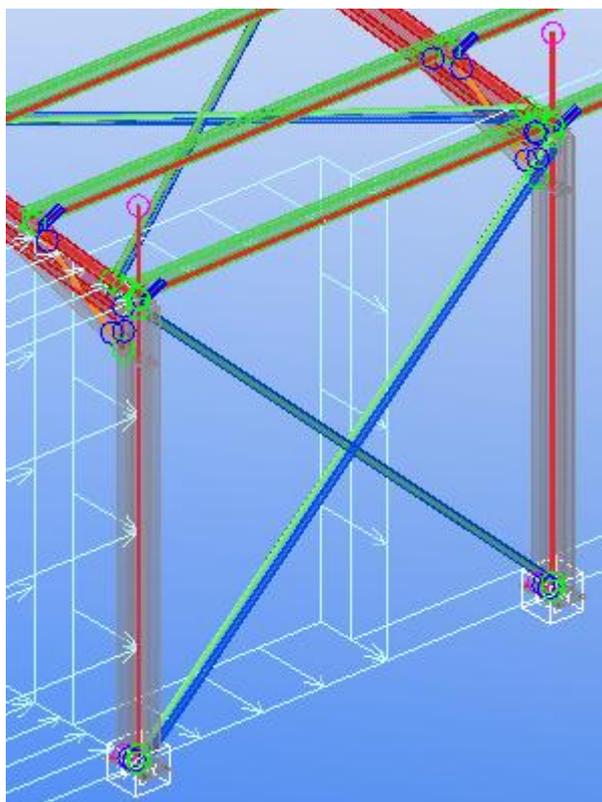


Рисунок 10 – Расчетная модель с нагрузками в Tekla

Tekla Structures автоматически создает сочетания в соответствии с европейскими нормативными документами [22]. К сожалению, в базе данных нет российских строительных норм и правил, поэтому все значения коэффициентов приходится вводить вручную. На заключительном этапе выполняется экспорт получившейся модели в расчетную среду.

Программный комплекс Tekla Structures имеет специальный интерфейс для создания чертежей, который непосредственно связан с моделью [24]. Это позволяет создавать чертежи не только с планами и разрезами, но и любую детализовку, что особенно важно при работе с металлическими конструкциями. Чертежи создаются в отдельной папке и остаются связанными с моделью. При внесении изменений в информационную модель чертежи при открытии обновляются.

В то же время изменения, внесенные в чертежи, не приводят к обновлению модели. В этом случае даже сложные информационные модели с большим количеством геометрических и аналитических данных, имеют небольшие размеры файлов, и нет существенного снижения в быстродействии работы.

1.3 Обзор информационных моделей мостов, созданных в мире

Большой опыт применения технологии информационного моделирования накоплен в Финляндии, Китае и ряде других стран.

В Финляндии ведущей компанией, занимающейся проектированием мостов, является WSP Finland [7]. Компания использует передовые методы для эффективного и оптимизированного проектирования стальных и бетонных мостов. Они используют для трехмерного моделирования Tekla в течение нескольких лет. По словам менеджера по развитию IT-инфраструктуры WSP Finland Антти Карьялайнен, трехмерное моделирование является естественным развитием отрасли. Он сравнивает 3D-моделирование в строительстве с переходом от пишущих машинок к автоматизированной обработке текстов. Компания стремится к передовым методам эффективного и оптимизированного проектирования мостов из стали и из бетона, включая мониторинг мостов, а также исследования влияния ветра и вибрации.

Существует несколько результатов исследований, проведенных в университете Оулу (Финляндия) с 2005 года, которые подтверждают эффективность технологии информационного моделирования в проектировании мостов. Данная технология облегчает процесс проектирования и делает его более эффективным. Очень важно, чтобы процесс информационного моделирования, инструменты САПР и методы проектирования были интегрированы в процесс на глубоком уровне.

Компания WSP Finland была выбрана в качестве разработчика для проектирования и строительства самого высокого в мире железнодорожного моста, пересекающего реку Ченаб в Индии. Из-за сурового ландшафта и климата его строительство является сложной задачей, особенно в плане соблюдения графика, технического соответствия и логистического управления. В качестве инструмента выбрана Tekla Structures, что позволило организовать улучшенную схему доставки материалов на площадку (рисунок 11).



Рисунок 11 – Информационная модель моста Чанах (Индия)
в Tekla и визуализация

Программное обеспечение также помогает в согласовании с местными органами власти, так как визуализация информационной модели в 3D-модель упрощает восприятие для принятия решений. Кроме того, необходимы специальные функции, такие как температурная коррекция (сталь + 20°C, бетон 0°C). Все элементы и блочные конструкции легко выполнять в Tekla Structures, что гарантирует точность размеров и координат, поэтому всегда можно быть уверенным, что результат будет таким, как запланировано.

Другим проектом была реконструкция моста Варикко в Каяани (Финляндия). Одна сторона моста была разрушена. Это мост из железобетона с изогнутой горизонтальной геометрией и постоянным поперечным сечением. Он охватывает пролеты 15,3 + 14,8 + 14,8 + 11,0 + 8,3 м, полезная ширина составляет около 15,4 метра. Конкретная структура была полностью смоделирована в Tekla Structures, включая базовые конструкции, а также части существующей и новой структуры (рисунок 12).

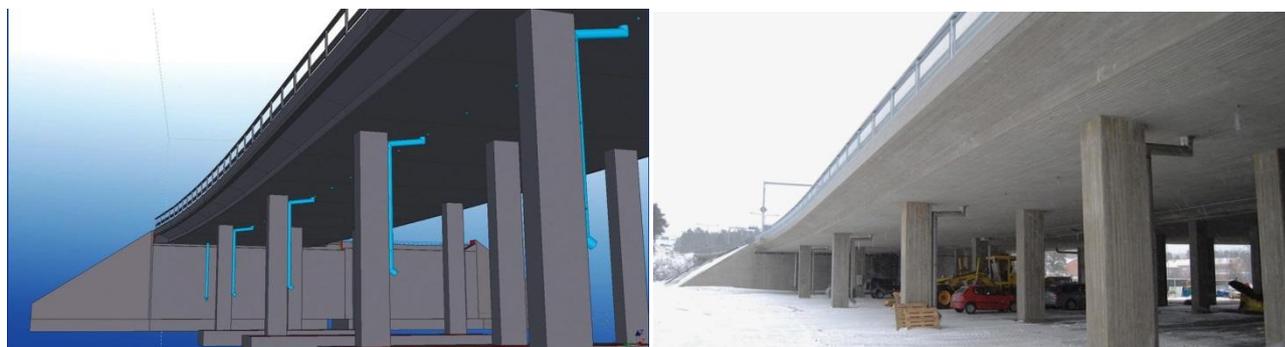


Рисунок 12 – Информационная модель моста Варикко (Финляндия)
в Tekla и новый мост

Согласно отчету WSP Finland, моделирование базовых конструкций, опоры для грунтов и промежуточных опор были легкими и быстрыми как в отношении бетонных конструкций, так и арматуры [5, 16]. «На разных этапах строительства геометрия моста измерялась несколько раз, и результаты сравнивались с моделью Tekla», – отметил инженер компании. – «В то же время мы использовали модель для измерения достигнутого качества в геометрии. Благодаря этому мы видели, что моделирование в сочетании с новейшими методами измерения – это функциональный и эффективный способ работы. Мы считаем, что он будет использоваться все больше и больше в ближайшем будущем».

В 2006 году WSP Finland разработала проект железнодорожного моста Madekoski в Оулу (Финляндия) также в Tekla Structures. Мост представляет собой сплошной трехпролетный бетонный плиточный мост шириной 7,2 метра. Его надстройка опирается на сваи из композитных стальных труб со стальными соединительными деталями. Мост был построен путем строительства проезжей части со стороны железной дороги с использованием гидравлических домкратов, чтобы переместить его в свое окончательное положение и установить его на опоры во время во время прерывания движения поездов и подачи напряжения. При подъеме или перемещении построенной конструкции моста крайне важно убедиться, что он соответствует опорам. Чтобы обеспечить успешную установку, сравнивались построенные размеры с точной моделью в Tekla.

В 2011 году был построен мост Crusell в Хельсинки (Финляндия) [7]. Он представляет собой асимметричный вантовый мост с двумя отверстиями.

Tekla Structures использовалась для проектирования стальных и бетонных деталей, а также подпорных стенок. Пролет моста составляет 92,0 + 51,5 метра с широким проходом для небольших лодок, расположенных на главном пролете. Вантовая система представляет собой асимметричную арфу, где угол наклона задних вантов круче, чем угол передних. Пилоны имеют наклон в 11 градусов (рисунок 13).



Рисунок 13 – Фото и информационная модель моста Crusell (Финляндия)

Еще одним успешным проектом стал мост в Хельсинки. Компания Kreate спроектировала и возвела пешеходный мост Grandfather's Bridge длиной 160 м по заказу администрации г. Хельсинки (Финляндия). Ширина моста составляет 4 м, длина пролета и– 144,3 м, высота пролета 4,7 м. Пролет подвешен на 22 парах натяжных стержней и состоит из сваренных на месте блоков. Мост покрыт стальной облицовкой. С одной стороны мост расширяется, и пешеходная часть раздваивается (рисунок 14).

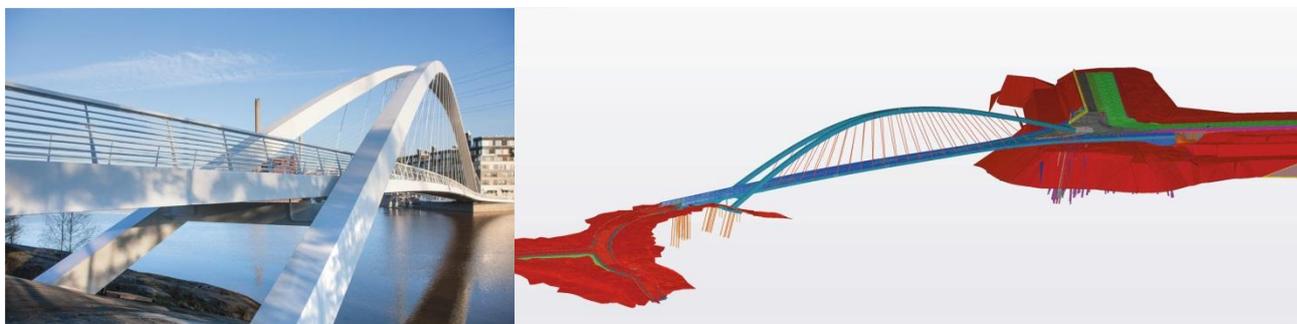


Рисунок 14 – Фото и информационная модель моста Grandfather's Bridge (Финляндия)

Компания Kreate использовала BIM-технологии на всех этапах строительства: от участия в тендере и создания информационной модели до составления графика работ, производства конструкций и возведения моста. Например, были спланированы сроки бетонирования, а также изготовления и монтажа металлоконструкций (рисунок 15).



Рисунок 15 – Монтаж металлоконструкций моста

С помощью информационной модели моста, созданной в Tekla Structures [58], заказчику демонстрировались различные этапы строительства [34]. Кроме того, участники проекта использовали инструмент Tekla Model Sharing для совместной работы с объединенной моделью. Благодаря этому все члены команды могли в любое время получать из модели актуальную информацию (рисунок 16).



Рисунок 16 – Обновление актуальной информации и учет изменений в модели

Благодаря применению технологии информационного моделирования армирование было точно рассчитано еще на этапе первоначального проектирования, а общая координация строительства велась без сбоев. Информационная модель позволила точно спланировать подготовку и доставку конструкций и материалов на место.

Трехмерная визуализация конструкций в программном обеспечении Tekla существенно облегчила обработку и восприятие технической информации об объекте, в том числе при строительных работах (рисунок 17). «Изучая виртуальную модель на базе BIM-технологий, строители смогли лучше понять особенности конструкции моста, – подчеркивает специалист строительной компании. – Это помогло с большей точностью следовать графику работ, ускорило и упростило возведение объекта».

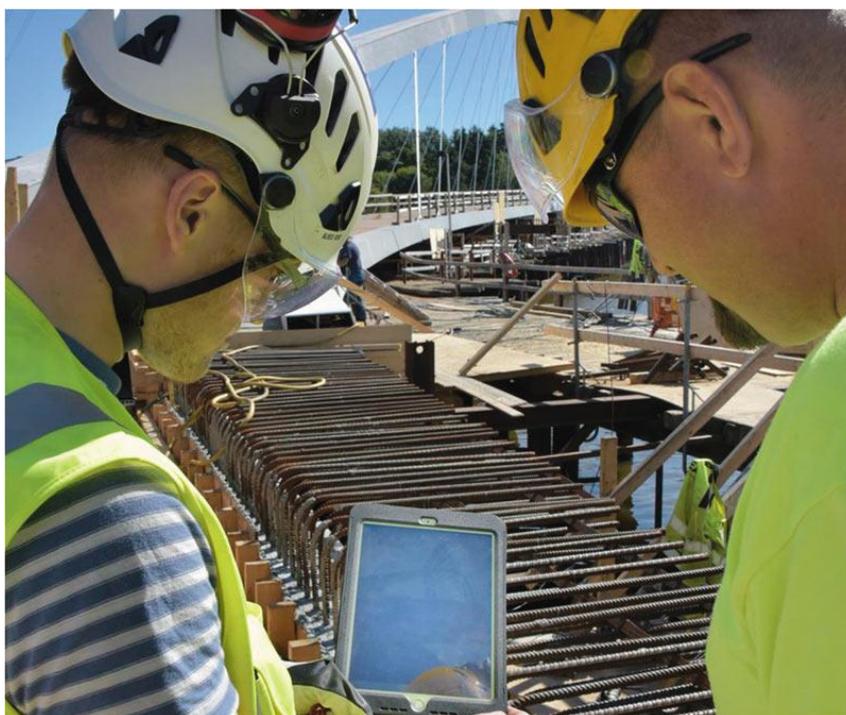


Рисунок 17 – Использование информационной модели при строительных работах

Применение информационного моделирования исключило возникновение ошибок в процессе проектирования и сделало его более удобным, прозрачным и эффективным. Это упростило совместную работу участников проекта, делая ее с

самого начала максимально точной и слаженной. Кроме того, информационное моделирование сократило временные затраты, предотвратило простои и устранило необходимость исправлений и доработок. А главное, применение BIM-технологий позволило создать важный объект городской инфраструктуры с высоким качеством исполнения.

В Китае примером успешного применения передовой технологии информационного моделирования мостов является проект автодорожного моста Сутун через реку Янцзы (Китай) (рисунок 18) [63]. Проект включал в себя конструкцию моста общей протяженностью 8206 м и два расширения: на северный и южный берега.



Рисунок 18 – Информационная модель моста Сутун через р. Янцзы (Китай)

Этот мост является одним из самых протяженных мостов в мире, построенных из цельных балок. Он крепится пилонами на семь пролётов, центральный из которых имеет длину 1088 м, среди вантовых мостов, по высоте пилонов 306 м он уступает лишь виадуку Мийо и Русскому мосту.

Проект разработан с помощью программного комплекса RM Bridge Professional компании Bentley. Применение технологий информационного моделирования при проектировании и анализе строительства моста Сутун позволило упростить решение сложнейших задач таких, как глубокий почвенный горизонт, сложная гидрология и неблагоприятный климат, особенно воздействие ветровых нагрузок. Эти задачи требовали глубокого анализа больших смещений, вызванных различными потенциальными условиями. Важно было также изучить динамические свойства моста, обусловленные ветром, сейсмическими воздействиями и возможные столкновения кораблей с опорами, работу пилонов. Особое внимание было уделено оптимизации натяжения канатов, так как для вантового моста этот фактор является ключевым на стадии строительства [39] (рисунок 19).



Рисунок 19 – Мост Сутун через р. Янцзы (Китай)

С помощью специального модуля AddCon в программном комплексе RM Bridge Professional натяжение канатов было точно настроено в процессе проектирования, также в нем было автоматически рассчитано оптимальное

распределение натяжения и необходимая последовательность напряжения канатов.

С целью противодействия динамическим нагрузкам были применены нелинейные демпферы [42]. Конструктивные параметры демпферов, включая промежуток, упругую жесткость и динамические характеристики, были также рассчитаны в приложении, созданным компанией Bentley.

Статический и динамический анализ были полностью осуществлены в приложении RM Bridge Professional. Это обеспечило выбор оптимального конструкторского решения. Способность системы моделировать существенные воздействия с временной зависимостью и анализировать стадии проектирования дало очевидные преимущества в сроках реализации проекта и его стоимости.

В итоге использование технологии информационного моделирования позволило повысить эффективность работ на 20% и сэкономить 8 недель работ по проекту. Кроме того, трехмерная информационная модель моста позволит сократить расходы в период эксплуатации и технического обслуживания на 2 млн долларов США.

В настоящее время во Вьетнаме запущен проект создания информационной модели моста Thu Thiem в г. Хошимин. Почти 900 м в длину и оцененный в 80 млн евро, мост будет построен, чтобы пересечь реку Сайгон в центральном месте в крупнейшем городе Вьетнама.

Будущий вантовый мост соединит новый район Thu Thiem, который в настоящее время строится, со старым центром. Основной пролет моста составит 200 м в длину, а пилон поднимется на 111 м. Мост включает 4 полосы для автомобилей, 2 полосы для мотоциклов и пешеходные дорожки с обеих сторон (рисунок 20).

Проект будет разрабатываться совместно вьетнамской компанией TEDI Юга и финской компанией WSP Finland. Финская компания обучила сотрудников вьетнамской компании использованию программ Tekla Structures и Trimble Connect и обеспечивает консультацию по всем вопросам, связанным с применением технологии информационного моделирования.



Рисунок 20 – Информационная модель моста Thu Thiem в г. Хошимин (Вьетнам)

Разработка проекта ведется по нормам и планам, основанных на общих требованиях к моделированию инфраструктуры в Финляндии (YIV 2015) и в соответствии с руководством по BIM Финского транспортного агентства по строительству мостов. Этот проект является первым международным инфраструктурным проектом во Вьетнаме, основанном на BIM. Практически он стал пилотным проектом в разработке национального стандарта BIM-технологий.

Опоры, в том числе мостовых подходов, представляют собой железобетонные сваи. Общий объем составит 5700 м. Мост включает в себя 56 пар кабелей, что составляет около 6000 м. Основной пролет состоит из железобетонной плиты и композитного пилона. Плита состоит из сборных и SIP-структур. Основной пролет состоит из двух однопавровых и двух двупавровых балок и поперечных балок из стали. Все соединения будут выполняться на месте сваркой.

Задние и боковые пролеты – это балочные конструкции из преднапряженного железобетона. Одна из основных опор оснащена специальной конструкцией, которая предотвратит скольжение моста в сторону в случае землетрясения. Кабели по бокам основной балки будут содержать амортизаторы

для снижения вибрации. На обеих сторонах моста будут предусмотрены освещенные стальные перила, а на проезжей части будут установлены железобетонные перила. Конструктивный пакет WSP Finland содержит архитектурный и структурный дизайн, специальный дизайн освещения, анализ ветра и испытания ветровой лаборатории.

Использование технологии информационного моделирования в проекте было само собой разумеющимся для WSP Finland. Благодаря этой технологии они гарантировали, что все проектируемые элементы подходят друг к другу, включая пролетные строения, маршруты и другую инфраструктуру. Все основные конструкции проезжей части были смоделированы в Tekla Structures, с использованием связи Rhino-Grasshopper.

Компания также использовала различные компоненты WSP Finland, которые были созданы специально для этого проекта. Модель содержит все вставки и конструктивные элементы моста. Структурный дизайн моста был смоделирован до его окончательной формы, полный окончательный проект производства будет включать в себя пилон и стальные конструкции, смоделированные для изготовления (рисунок 21).

На рисунке видно, что использование информационной модели позволяет отображать конструкцию моста с различной степенью детализации. Это облегчает процесс принятия проекта заказчиком, и помогает в процессе строительства при выполнении монтажа конструкции.

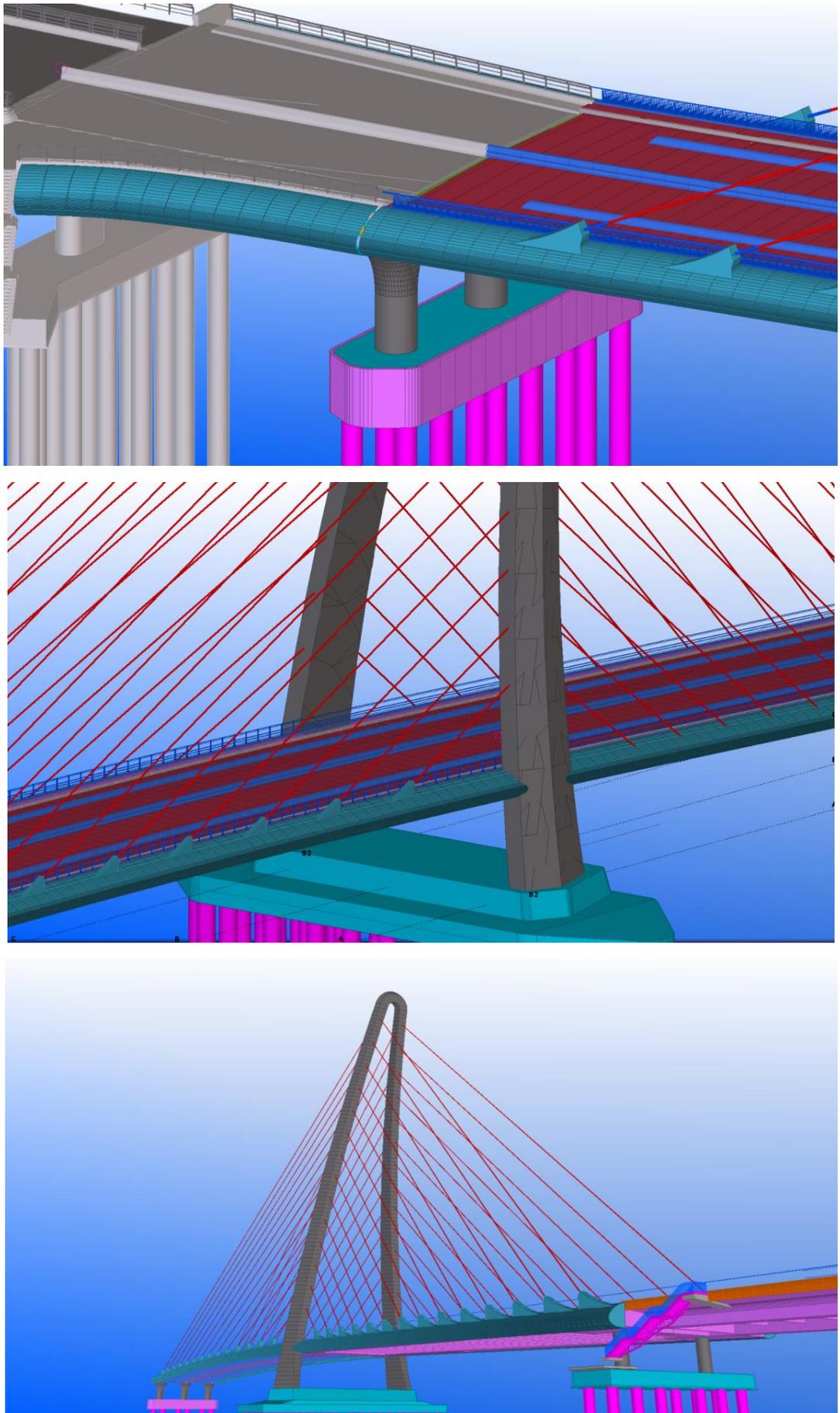


Рисунок 21 – Элементы и узлы проектируемого моста

Чтобы обеспечить эффективную совместную работу компаний из разных стран, расположенных на большом расстоянии друг от друга, необходимо обеспечить устойчивый и быстрый процесс передачи данных. Для передачи данных в данном проекте будет использовано программное обеспечение Trimble Connect компании-разработчика Tekla. Его можно использовать на различных платформах (настольные, браузерные и мобильные версии), чтобы обмениваться проектной информацией в любых форматах (IFC, LandXML, DWG, PDF) [41].

Структура моста имеет сложную модель из-за различной геометрии и поперечных сечений. Основной пролет включает стальные конструкции, сборные блоки и конструкции СІР. Задний пролет включает в себя железобетонную конструкцию с переменным поперечным сечением [44], а боковые пролеты, выполненные из армированных сборных блоков, частично переменны, частично стандартными поперечным сечением (рисунок 22).

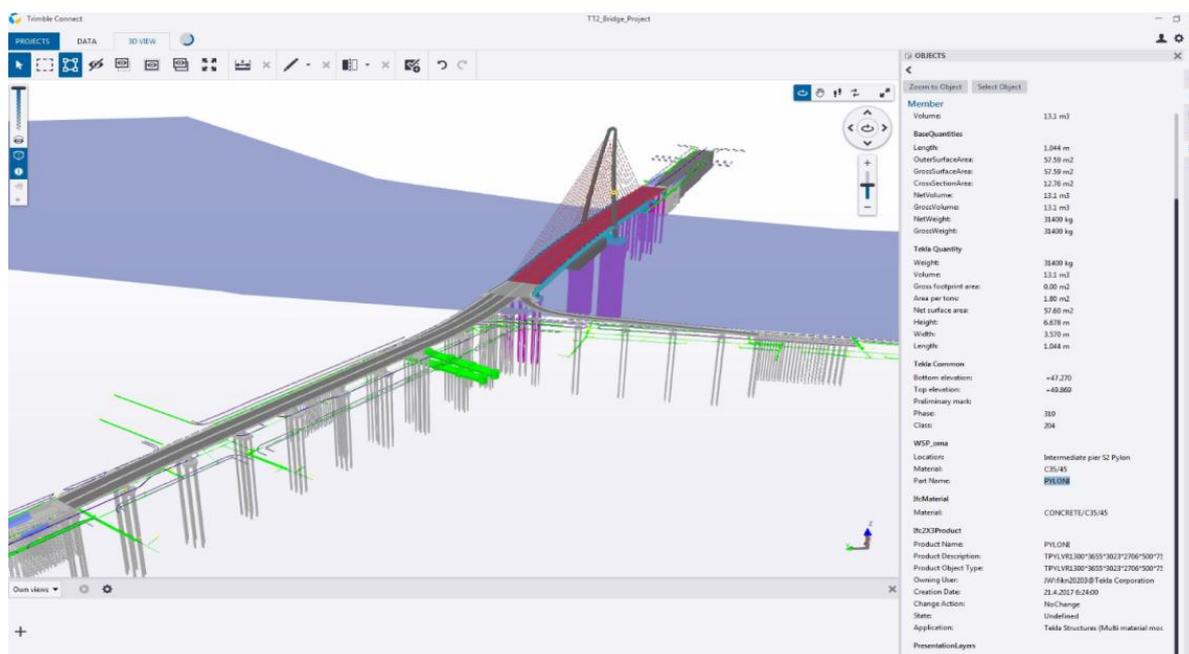


Рисунок 22 – Общий вид проектируемого моста

Были смоделированы все крепления проезжей части, состоящей из СІР и сборных блоков. Были смоделированы около 8100 м пролетов. Еще одна проблема заключалась в пилоне с переменным поперечным сечением, который инкапсулирует стальной корпус оборудования. Для моделирования блоков

крепления пилона использовался инструмент Rhino-Grasshopper, а для моделирования бетонной конструкции использовались мостовые инструменты Tekla.

Несмотря на то, что к моделированию предъявлялись высокие требования, создание проекта было бы еще более сложным без технологии информационного моделирования, и конечный результат мог быть не таким точным. Было довольно легко обнаружить возможные коллизии и проверить ошибки. Новые технологии и комбинирование способов работы связаны с их собственными проблемами, которые были решены и изучены в ходе проекта.

Применение современных технологий информационного моделирования позволило выполнить проект намного проще, быстрее и эффективнее [1, 40]. Организация совместной работы, как показывает опыт внедрения, может стать проблемным вопросом для любого проекта. Исследование, проведенное Национальным институтом по стандартизации и технологии (NIST), показало, что недостаточный уровень взаимодействия между участниками проекта обходится союзникам в дополнительные 15,8 миллиарда долларов ежегодно. Очевидно, что строительная отрасль могла бы извлечь пользу от внедрения более совершенных технологий обмена и управления информацией.

ГЛАВА 2 РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Программа Tekla реализует BIM-технологии в мостостроении [4]. Она предлагает современный интерфейс, простоту использование при создании информационной модели моста. Важной особенностью является совместное использование данных в разных программных платформах: разработки, корректировки, а также их отправки обратно в информационную модель объекта.

Tekla позволяет использовать данные информационные модели для создания плана и координаций работ по монтажу. Tekla дает возможность анализировать варианты решений и демонстрировать результаты этих разработок заказчикам. Можно быстро выполнять расчет конструкций и подсчитывать количества материалов для принятия решений.

2.1 Процесс информационного моделирования элементов моста с помощью программы Tekla

Работа в Tekla Structures начинается с создания модели с нуля или импортирования архитектурной модели или федеративной модели (состоящей из нескольких файлов различных форматов). Эти данные используют в качестве основы. При создании нового проекта в самом начале задается сетка осей (рисунок 23). К осям и их пересечениям привязываются объекты в моделях. Кроме того, они необходимы для создания плана и вертикальных разрезов.

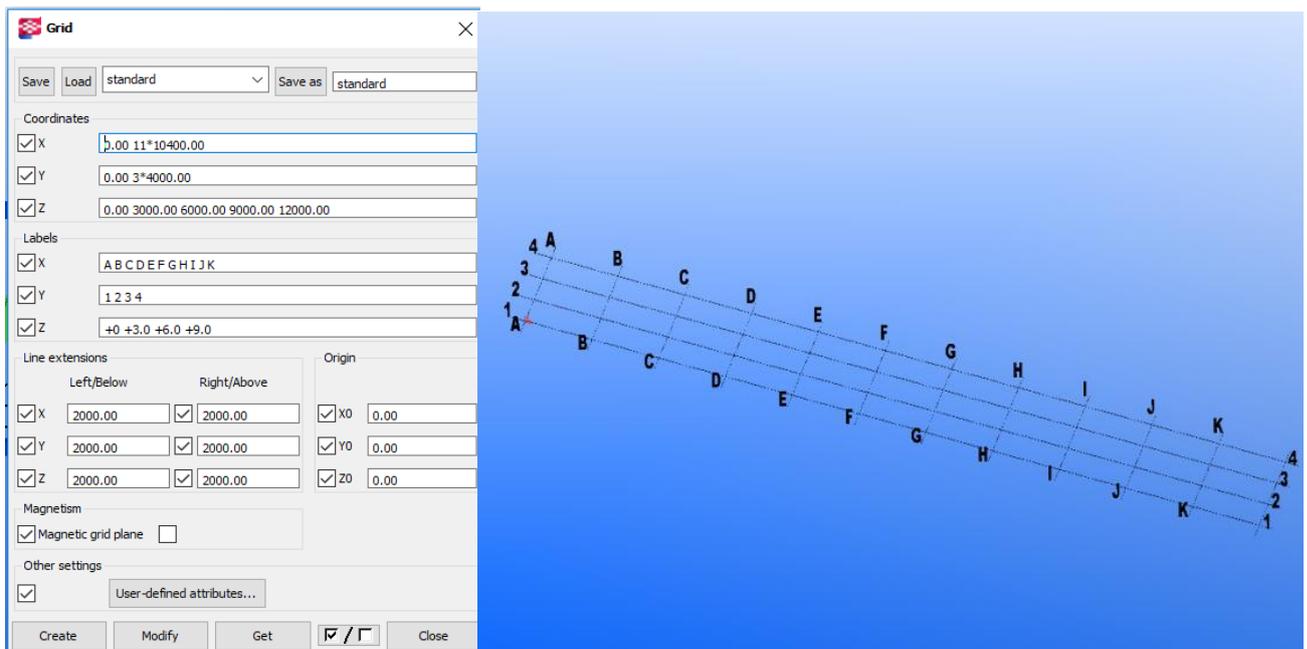


Рисунок 23 – Задание сетки осей

После настройки вида и создания сетки необходимо выбрать необходимые инструменты для создания типовых частей мостового сооружения, таких как балки, колонны, пластины, плиты, стены и т.д. Все инструменты для основных видов элементов сгруппированы в панели инструментов. Например, панель инструментов Steel (сталь) содержит инструменты для создания стальных балок, колонн, и пластин; панель инструментов Concrete (бетон) содержит инструменты для создания объектов из бетона и арматуры; панель инструментов Loads (нагрузки) содержит инструменты для создания нагрузок, просмотра и редактирования групп нагрузок, и т.д. Предусмотрено несколько дополнительных панелей, которые содержат инструменты для моделирования связей, деталей и других компонентов [37].

Программа содержит обширный каталог различных профилей из стали, бетона, древесины. В процессе создания модели можно редактировать любой объект, переназначая ему физические и геометрические характеристики (рисунок 24).

Все характеристики будут доступны при выборе материала, назначаемого элементу конструкции, а также во вкладке «Расчет» .

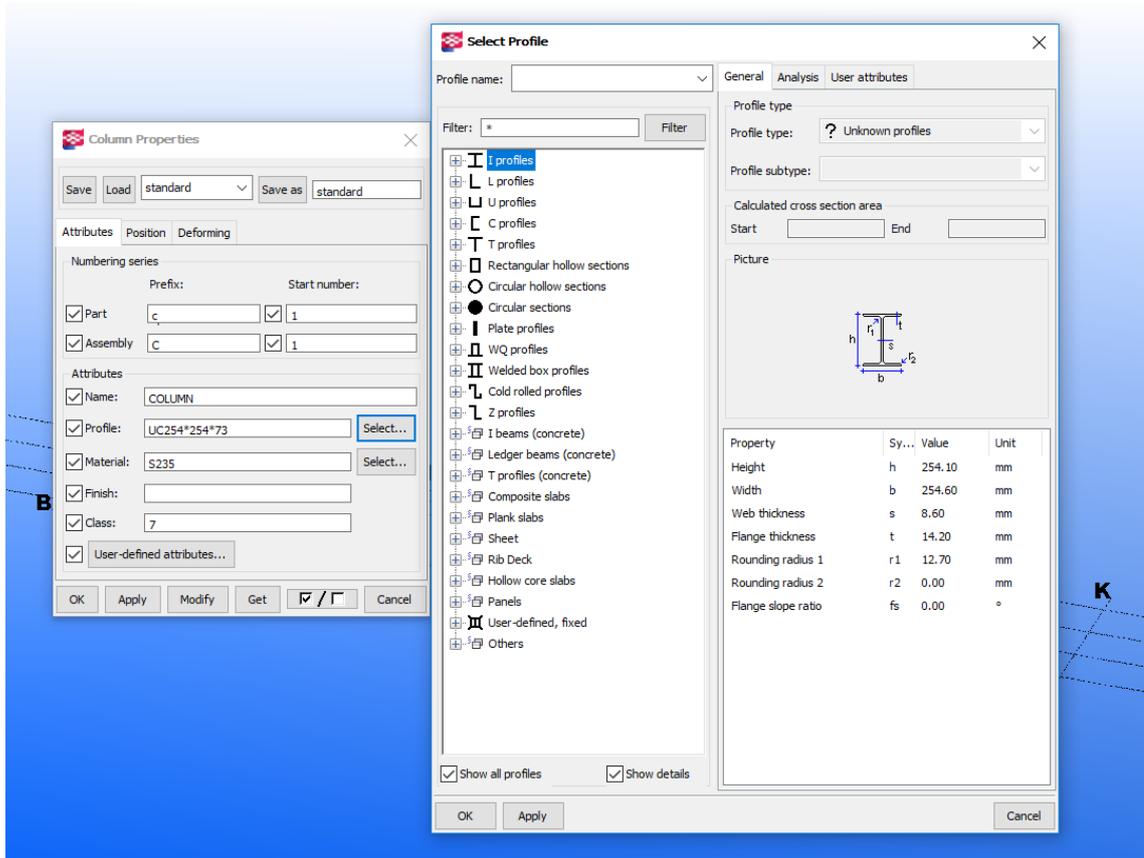


Рисунок 24 – Задание физических и геометрических характеристик объекту

В программе Tekla можно создать сквозные металлические фермы моста [55], причем создание этих элементов реализуется довольно просто, благодаря удобному интерфейсу и большому количеству различных сечений металлических балок. На рисунке 25 представлен вариант сквозной металлической фермы моста [27], нижний и верхний пояса которой имеют прямоугольный профиль размерами 720x650 мм и толщиной стенки 20 мм, и раскосы квадратного профиля размерами 650x650 мм и толщиной стенки 12 мм. Материал – сталь с235.

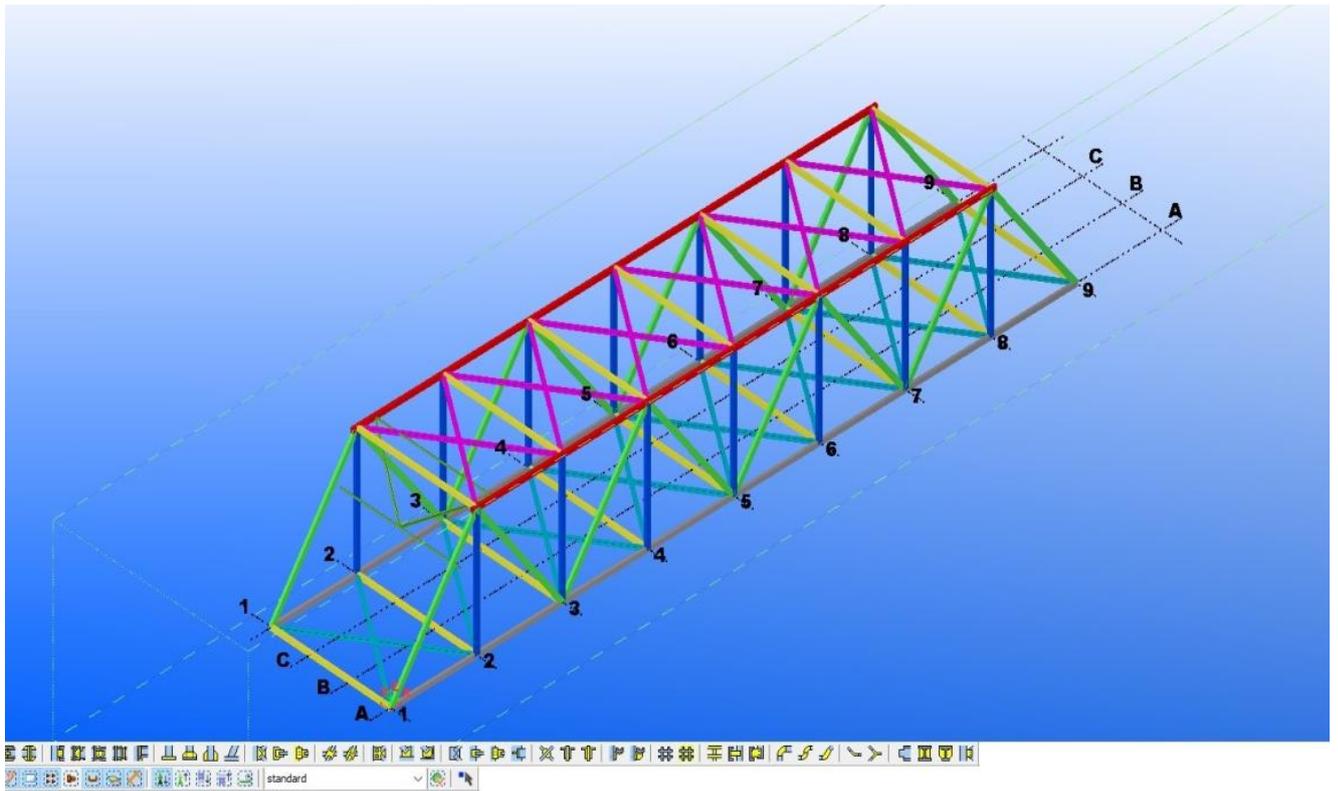


Рисунок 25 – Модель мостовой фермы

Управление этими элементами выполняется с помощью каталога компонентов (рисунок 26). При необходимости можно создавать собственные компоненты, такие как: соединения, детали, швы [36] – путем изменения существующих, или создать собственные компоненты и сохранить их в пользовательской библиотеке, чтобы использовать в дальнейшей работе. После создания соединения, в Tekla Structures предусмотрена возможность вывести на экран вид соединения во всех трех проекциях (рисунок 27).



Рисунок 26 – Каталог компонентов

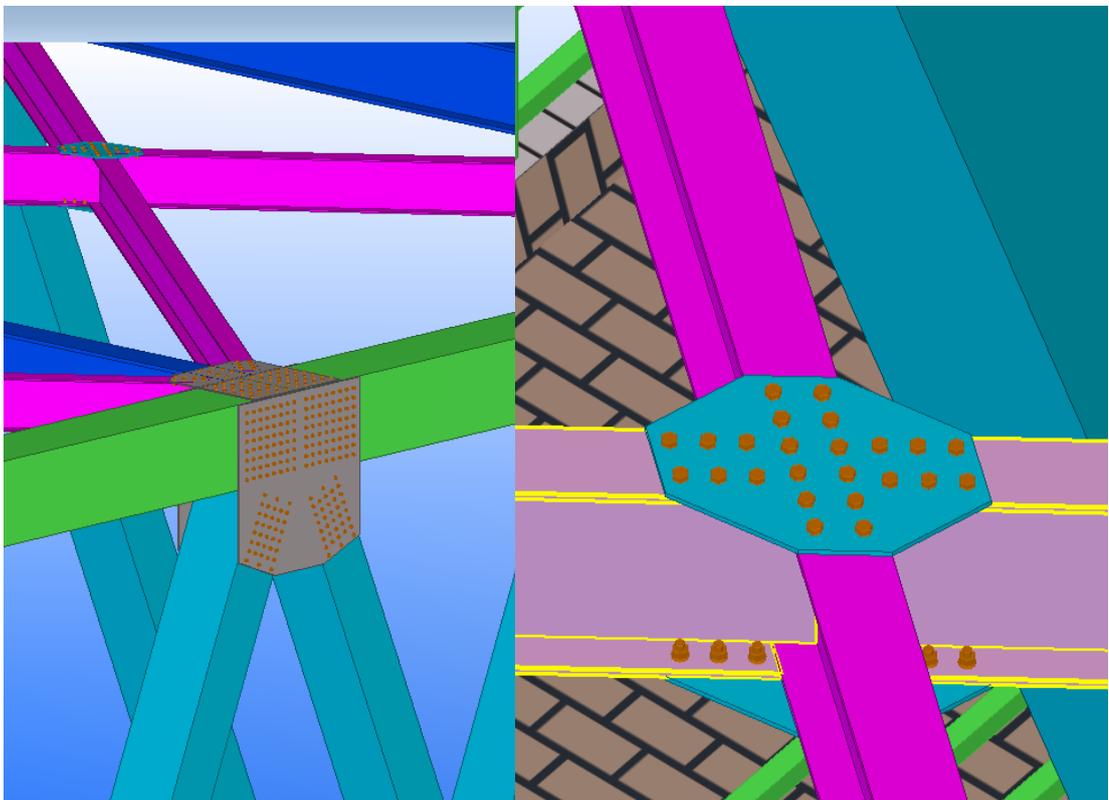


Рисунок 27 – Проекция болтового соединения

Для создания опор моста можно использовать стандартные элементы, объединяя их в нужную структуры. Можно создать собственную параметрическую модель и подгрузить ее в библиотеку программы. На рисунке 28 представлены опоры, созданные с использованием стандартных элементов [57].

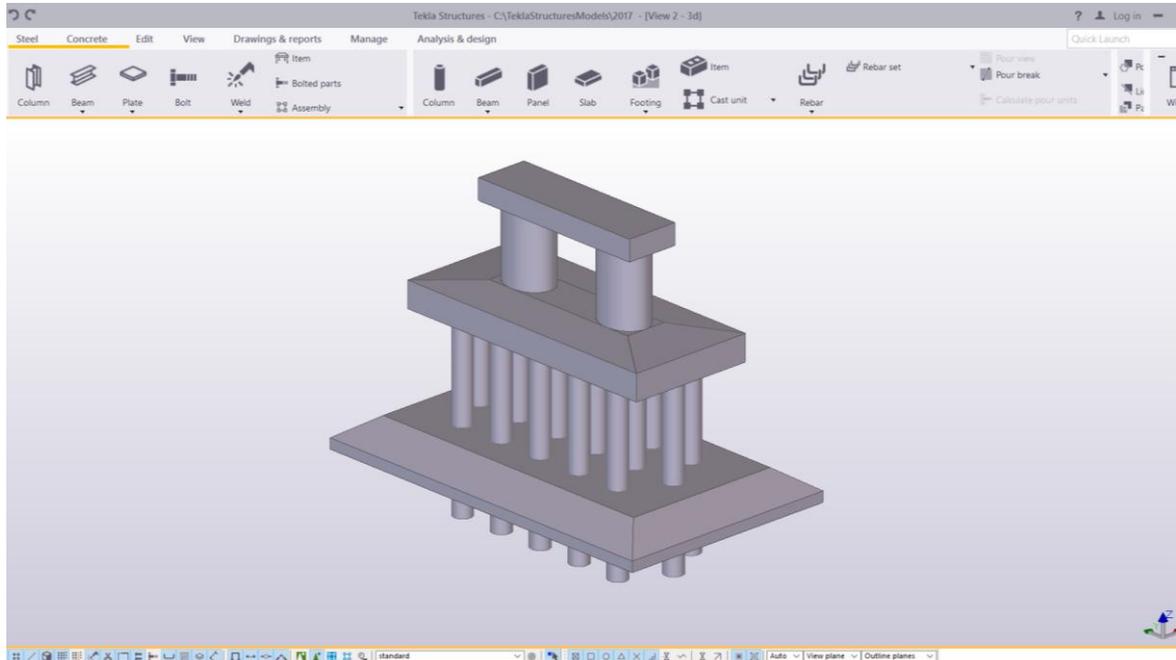


Рисунок 28 – Бетонные поры моста

На опорах размещают балки проезжей части (рисунок 29), затем можно выполнить армирование опор и проезжей части (рисунок 30).

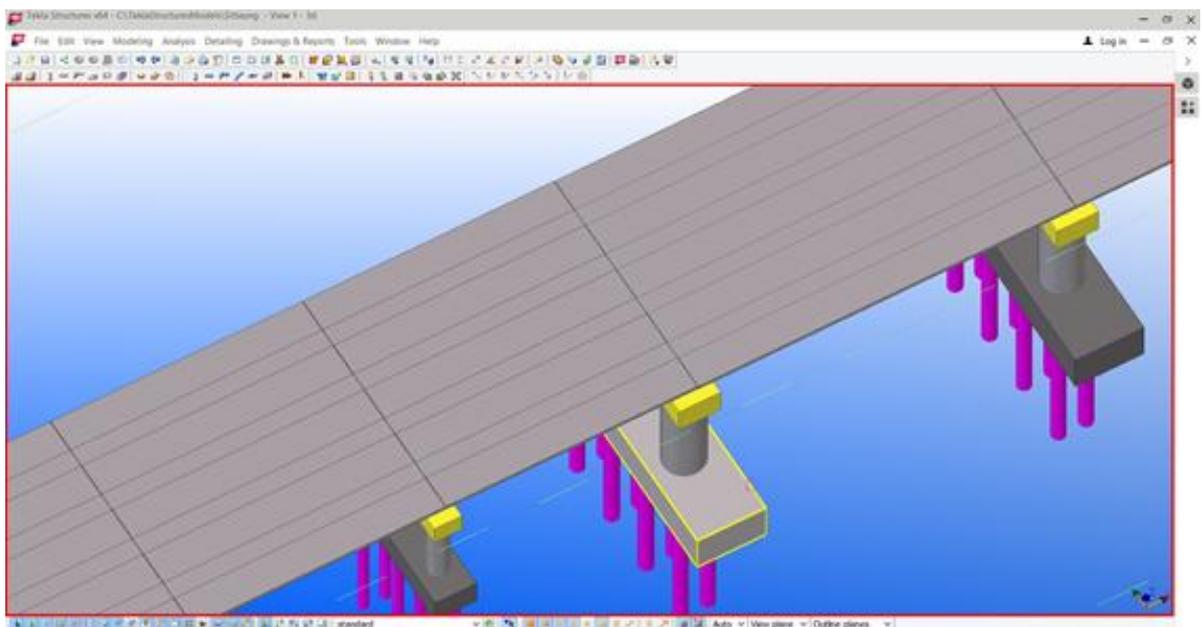


Рисунок 29 – Балки проезжей части на опорах

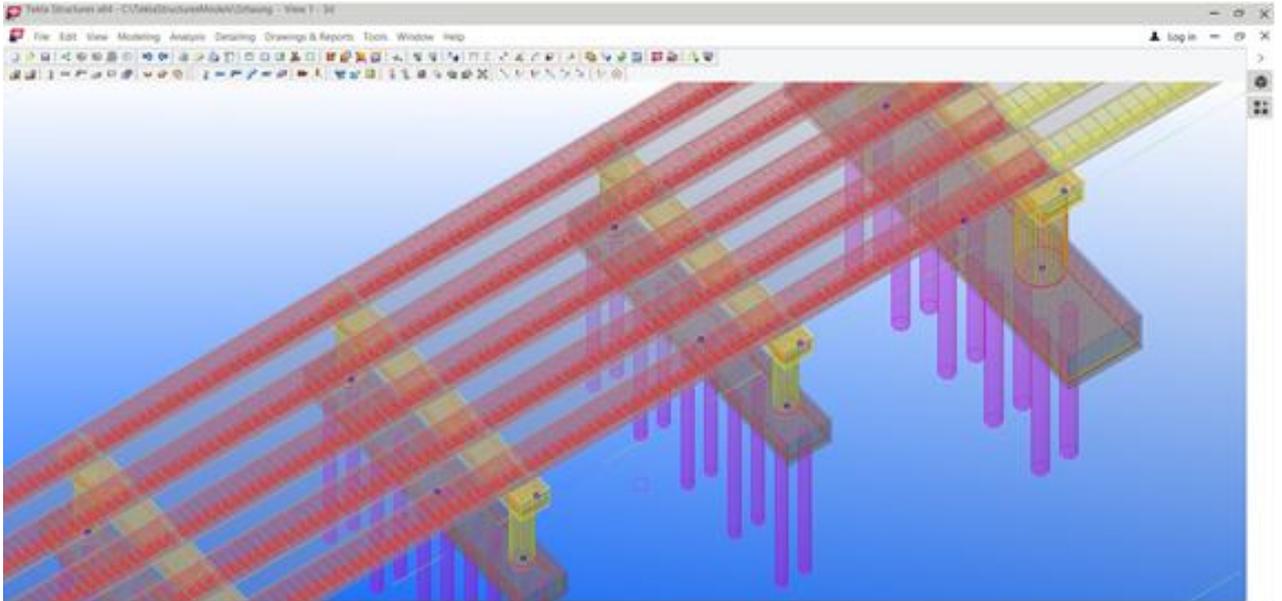


Рисунок 30 – Армирование опор и балок моста

Пример размещения главных металлических ферм моста представлен на рисунке 31.

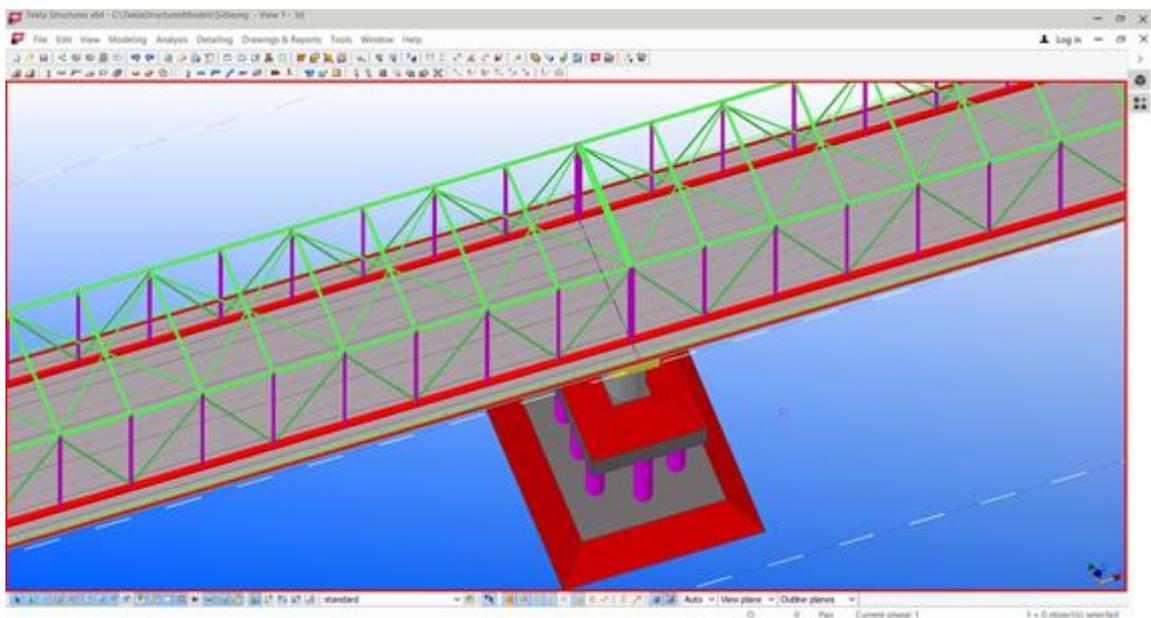


Рисунок 31 – Металлические фермы

В результате применения типовых компонентов и элементов, разработанных самостоятельно, формируется полная модель мостового сооружения (рисунок 32).

На первом этапе по исходным чертежам были нарисованы железобетонные опоры. Далее, по чертежам общего вида и по фотографиям были смоделированы металлические фермы моста. Элементы ферм имеют двутавровое и коробчатое сечение, в качестве соединений используются болты (рисунок 35).

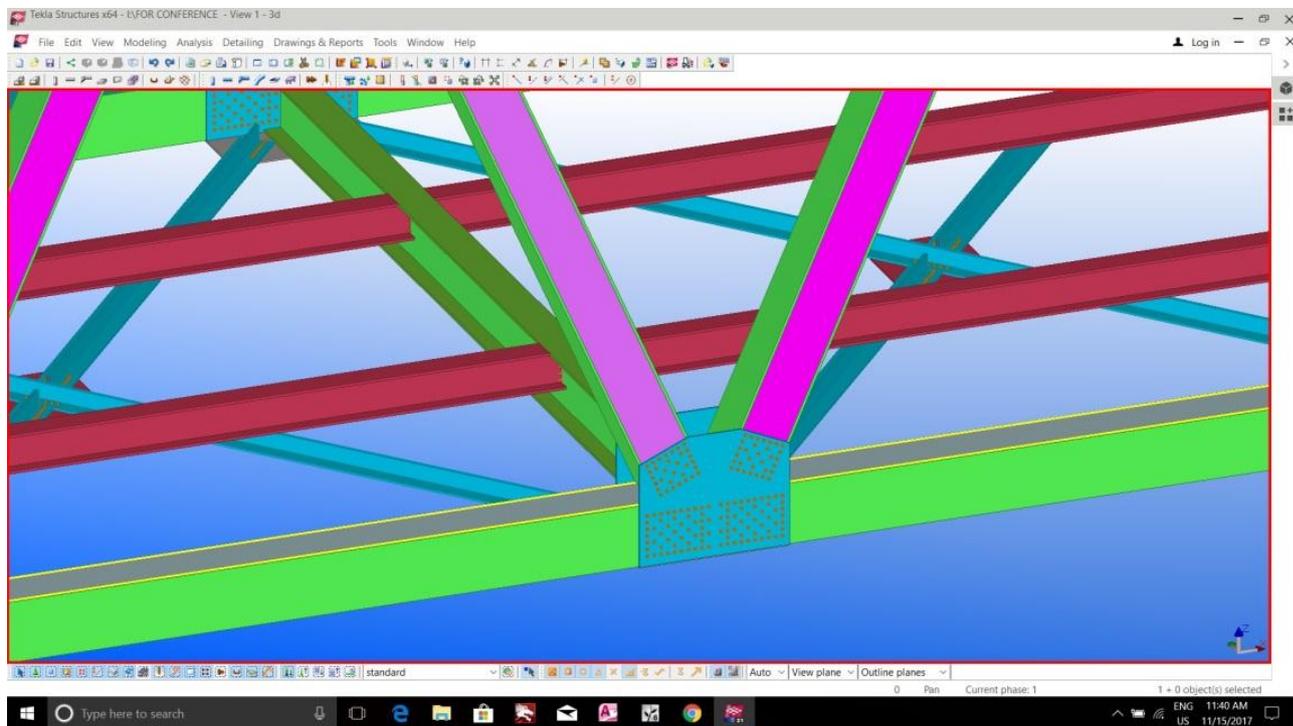


Рисунок 35 – Металлическая ферма моста Ситтаун в программе Tekla

Следует отметить, что в Tekla существует большая библиотека металлических элементов с различным сечением, что позволило в дальнейшем провести сравнительный анализ нескольких вариантов реконструкции. В случае необходимости можно добавить свои (пользовательские) варианты сечений. Способы их создания и добавления в модель рассмотрены далее.

Реконструируемый мост имеет четыре фермы, для каждой из них была создана подробная информационная модель со всеми узлами. Общий вид полученной информационной модели представлен на рисунке 36.

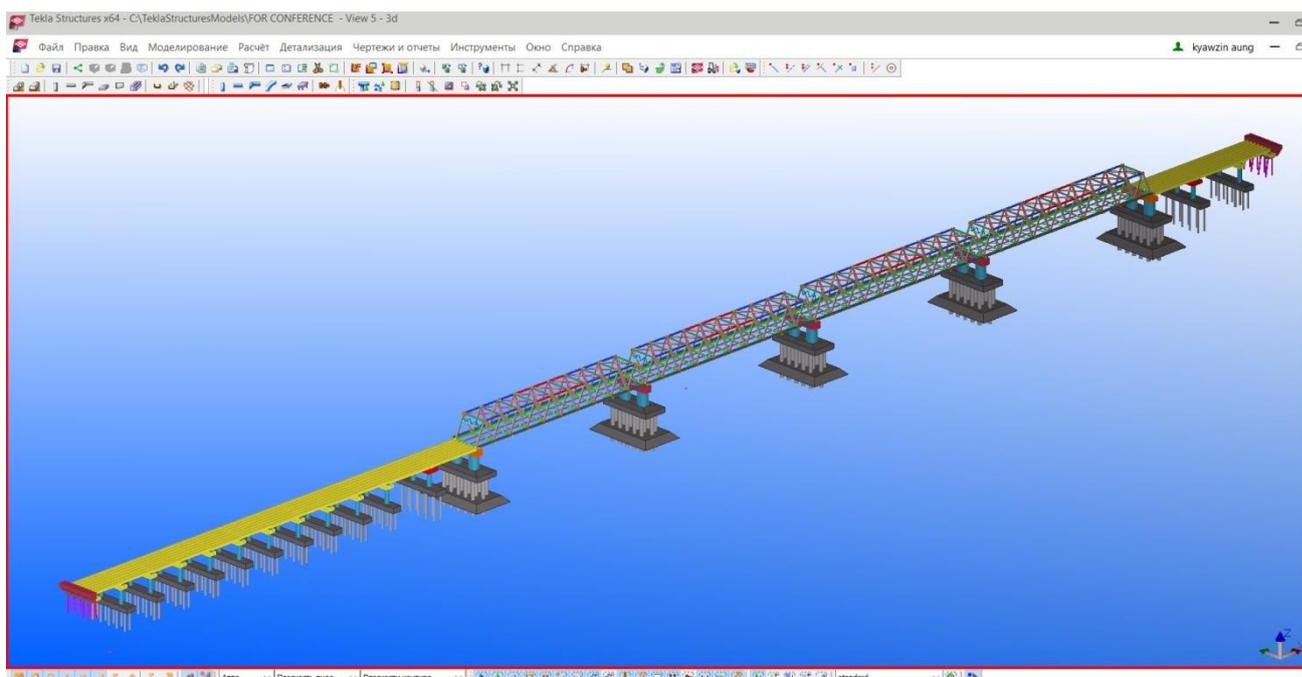


Рисунок 36 – Общий вид моста Ситтаунг

Используя технологию информационного моделирования можно выполнять подбор вариантов для различных типов сечений, для различных материалов, можно оценить требуемое количество металла и бетона. Выполнить эту оценку легко, так как все BIM-программы позволяют вывести спецификации материалов и элементов.

После этапа проектирования информационная модель передается строителям, которые выполняют работы в соответствии с графиком строительства. График генерируется и в программе Tekla, и в специализированных программах. Вся информация об объекте поступает в общую базу данных, обновляя ее. Информация об объекте обновляется в течение всего жизненного цикла моста [56], и можно быть уверенным, что в любой момент она доступна, а документация не потеряется и не устаревает.

На рисунке 37 представлена фотография реконструированного моста и его информационная модель.



Рисунок 37 – Мост Ситтаунг (Республика Мьянма)

Tekla Structures представляет собой очень мощный программный комплекс, предоставляющий большие возможности для проектирования любых видов зданий и сооружений. Он поставляется с обширной библиотекой компонентов, как для стали, так и бетона.

2.2 Выбор элементов для создания информационной модели проектируемого моста

Программное обеспечение Tekla работает со всеми видами материалов, поэтому модель может включать в себя сборный и монолитный бетон, металл, дерево и любые другие материалов.

Наиболее удобным функционалом для адаптации, на наш взгляд, обладает Tekla. В этой программе есть возможность расширить функционал с помощью открытого программного интерфейса Tekla Open API [12], в котором используется язык C# [10]. Остановимся подробнее на создании в Tekla сечений элементов главных ферм мостов со сквозными фермами.

При информационном моделировании фермы металлического моста в процессе создания нижнего и верхнего пояса, стоек, подвесов и раскосов программа предлагает большой выбор типовых коробчатых и двутавровых

сечений. Варианты сечений доступны при выборе балки, если выбрать закладку «Свойства балки» и «Атрибуты». При нажатии на кнопку «Выбрать» в строке «Профиль» появляется окно с загруженными профилями. Для удобства выбора отображается вид сечения и его геометрические характеристики (рисунок 38).

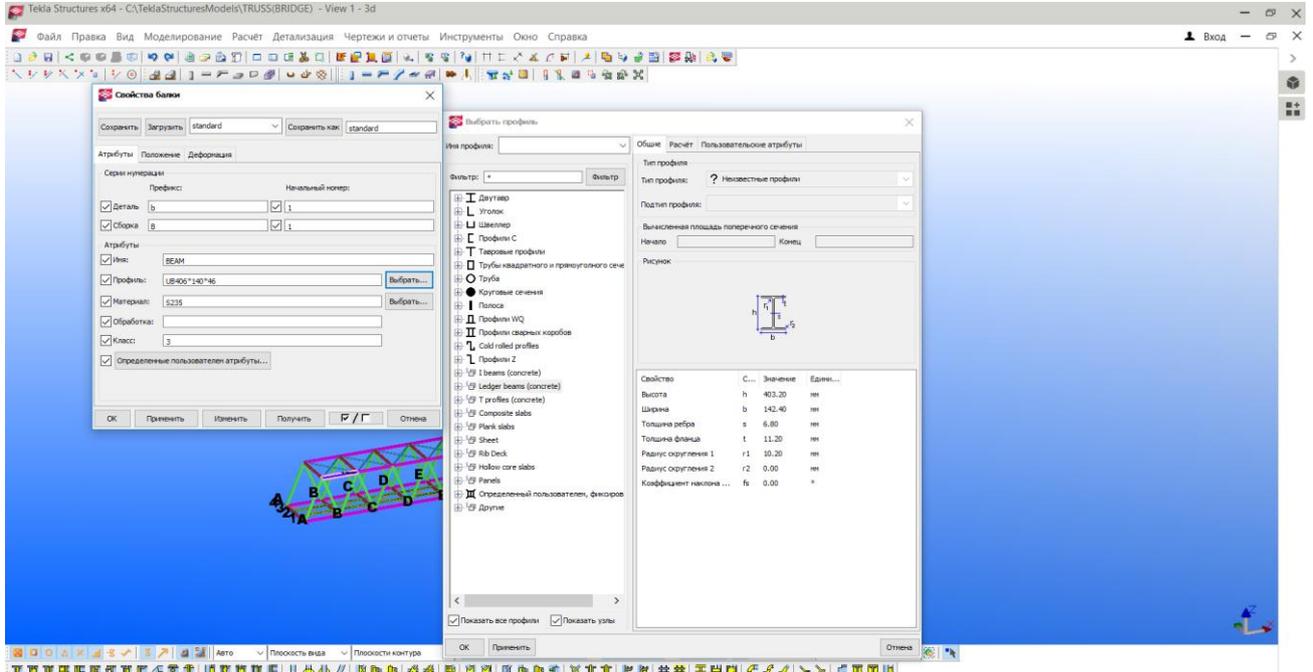


Рисунок 38 – Выбор типового профиля балки

В большинстве случаев при проектировании типовых металлоконструкций этого списка профилей достаточно. Но при создании конструкций нетиповых ферм эти сечения не подходят. Кроме того, может возникнуть задача эффективного создания различных элементов на отдельных слоях.

Для адаптации процесса информационного моделирования сквозных главных ферм металлических мостов был написан плагин [12], настраивающий программу для моделирования таких нетиповых задач (приложение Б). В Tekla реализуется открытый подход к BIM, благодаря этому написание плагинов является удобным способом настройки интерфейса и необходимого функционала для специалистов, владеющих программированием.

В дополнение списка профилей были созданы новые виды сечений и заданы необходимые геометрические характеристики (рисунок 39).

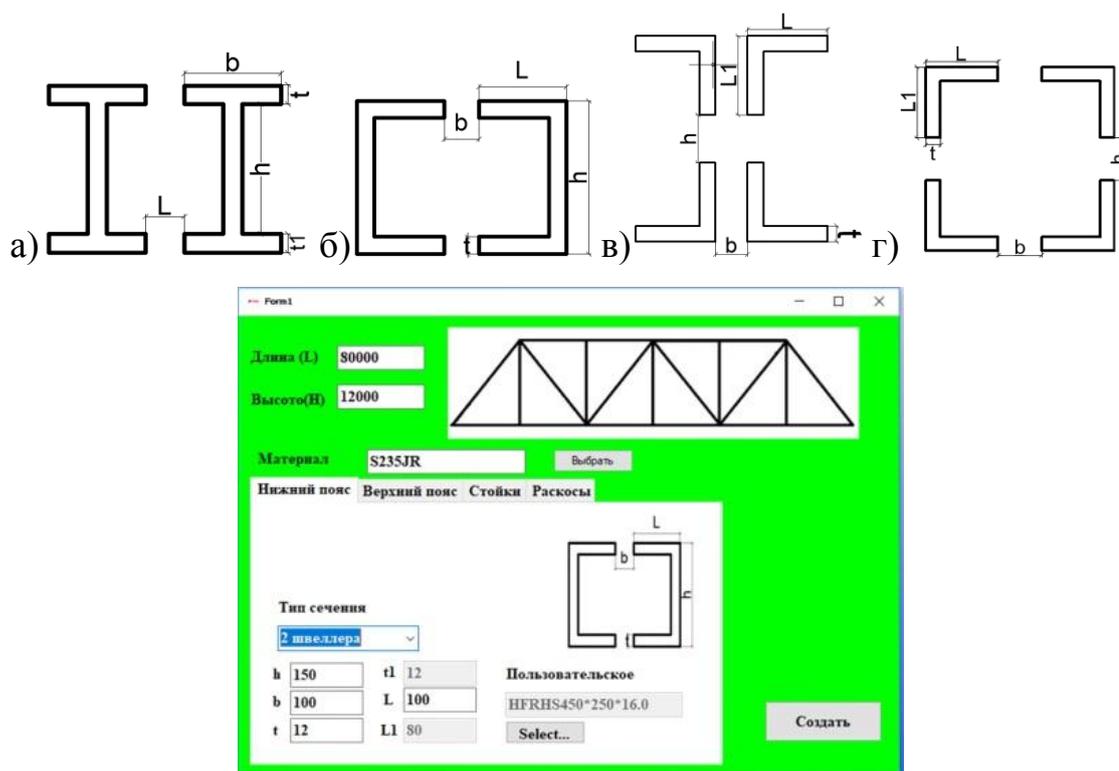


Рисунок 39 – Выбор пользовательского сечения балки из списка

С помощью интерфейса Tekla Open API были созданы несколько диалоговых окон для рисования фермы по слоям (нижний пояс, верхний пояс, стойки, раскосы). Это было сделано для удобства при передаче информационной модели в расчетную программу КАТРАН [52]. Рассмотрим подробнее окно, в котором проектировщик задает длину и высоту той части фермы, которая изображена на рисунке. После ввода значений он выбирает материал конструкции, а затем задает тип сечения для нижнего и верхнего пояса, стоек, раскосов. Тип сечения выбирается из выпадающего списка профилей [62].

При выборе строки в списке появляется соответствующее сечение и его геометрические характеристики. Окно диалога позволяет изменить некоторые параметры при вводе числовых значений в отмеченные поля (рисунок 40).

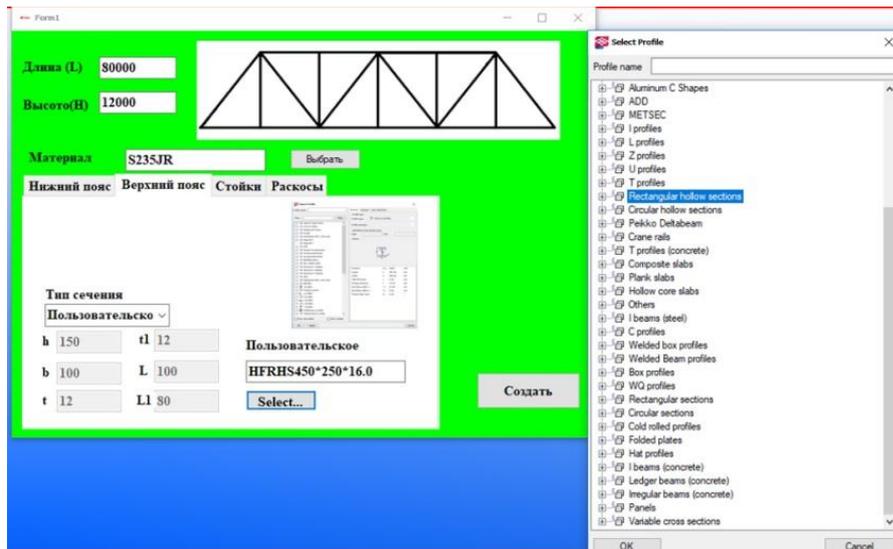


Рисунок 40 – Пользовательский тип сечения балки

Таким образом выполняется настройка для каждого элемента фермы, а затем при нажатии на кнопку «Создать» происходит отрисовка трехмерной модели фермы (рисунок 41).

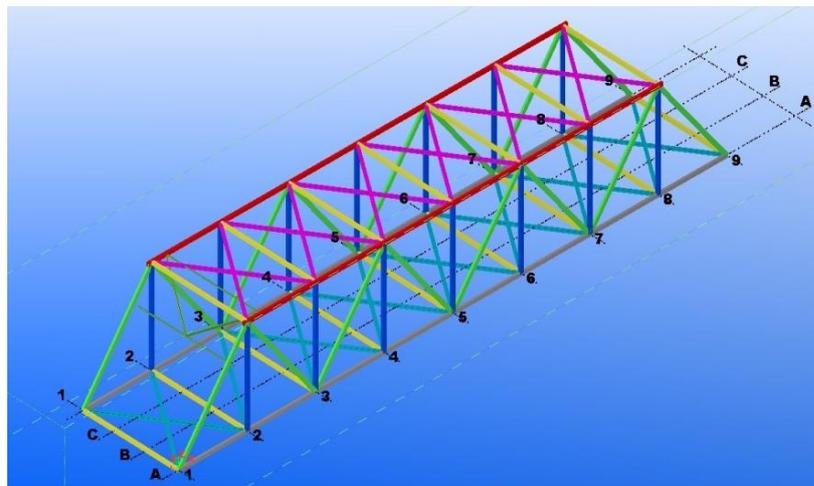


Рисунок 41 – Общий вид фермы

Современные технологии в проектировании и строительстве транспортных объектов позволяют ускорить процесс проектирования и сделать его эффективнее. Расширение функционала программ для BIM с помощью плагинов позволяет проектировщику настроить удобную рабочую среду, чтобы сэкономить время и снизить вероятность ошибки.

2.3 Формирование узловых креплений проектируемых мостов

С помощью технологии информационного моделирования можно быстро собрать информационную модель типовой конструкции. Однако при проектировании уникального сооружения необходимо дополнять программу новыми элементами и плагинами (специальными программами, запускаемыми в среде информационного моделирования). Плагины позволяют существенно сократить время при проектировании. Практически во всех программах для BIM есть возможность таких дополнений. Очень удобным функционалом для автоматизации обладает Tekla [61]. В этой программе есть возможность расширить функционал с помощью открытого программного интерфейса Tekla Open API, в котором используется язык C#.

Рассмотрим возможности создания инструментов автоматизации на процессе расстановки болтов в узлах главных ферм в программе Tekla. Стандартный функционал программы предлагает несколько вариантов размещения групп болтов при выборе вкладки «Болты». Но во всех случаях проектировщик должен заранее рассчитать не только количество болтов, но и их расположение. Составление схемы расположения болтов отнимает определенное время, так как надо учесть все требования к шагу болтов.

Требования к расстановке болтов в узлах главных ферм:

1. Число продольных рядов болтов должно быть нечетным;
2. В первом, втором и последнем поперечных рядах болтов ставится максимальное количество болтов (в сжатых только 1-ый и последний ряд болтов) с шагом 160 мм;
3. Крайние продольные ряды ставятся с шагом 80мм;
4. Болты размещают симметрично относительно продольной оси элемента;
5. Болтовое поле должно быть компактным.

Минимальный шаг расстановки болтов, как правило, принимается равным 80 мм.

Пример расстановки болтов, прикрепляющих раскосы, в узле на рисунке 42 выполнен с учётом всех требований.

Используя стандартный функционал Tekla, через вкладку «Болты» можно задать группу и выполнить необходимую процедуру отрисовки такой схемы за 2 прохода.

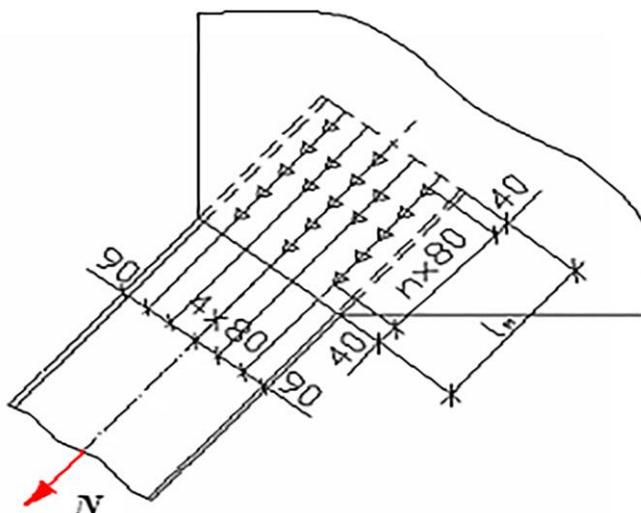


Рисунок 42 – Схема расстановки болтов

Для сокращения времени на выполнение данной операции в [20] предложен алгоритм, который позволяет выполнить расстановку болтов за один проход с учетом всех требований. При этом место расположения каждого болта рассчитывается автоматически, а не вводится вручную.

Исходные данные для алгоритма:

- ширина и высота области для расстановки болтов,
- количество болтов,
- шаг расстановки болтов и
- координаты точки, с которой начинается расчет.

Для реализации алгоритма написана программа (плагин) на языке C#, выполняющая расстановку болтов. В Tekla реализуется открытый подход к BIM, благодаря этому написание плагинов является удобным способом настройки интерфейса и необходимого функционала для специалистов, владеющих программированием.

В качестве примера было выбрано крепление раскосов к нижнему поясу

сквозной главной фермы (рисунок 43). Крестиками отмечены точки, с которых начинается расчет для каждой области.

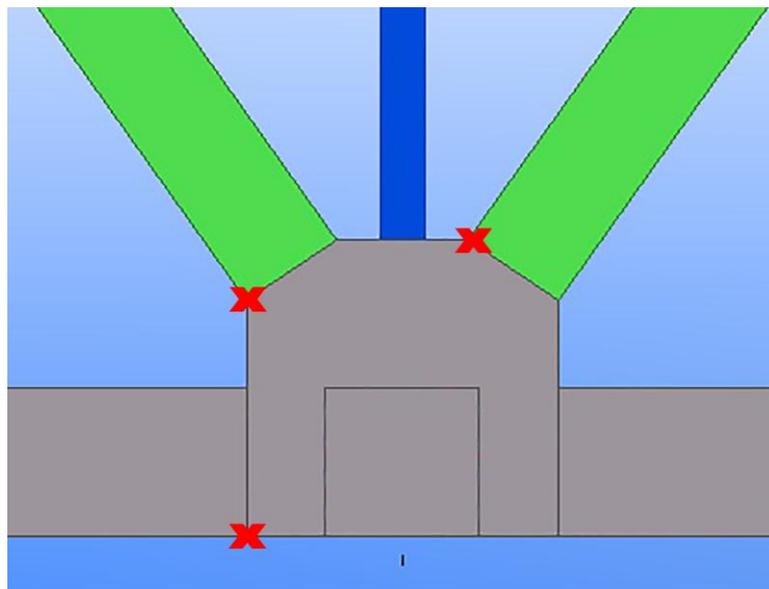


Рисунок 43 – Узел нижнего пояса сквозной фермы

С помощью интерфейса Tekla Open API было создано диалоговое окно для расстановки болтов. В соответствующих полях формы проектировщик задает ширину, высоту и начальную точку той области, в которой расставляются болты, также задается шаг и количество болтов (рисунок 44) [60]. Нажатие кнопки «Выполнить» запускает процесс.

| | |
|----------------------------|-----|
| Ширина области | 500 |
| Высота области | 480 |
| Шаг расстановки | 80 |
| Количество болтов | 19 |
| Координаты начальной точки | 80 |

Рисунок 44 – Диалоговое окно расстановки болтов

Результат работы программы для четырех областей, где необходимо было расставить болты, представлен на рисунке 45. Если потребуется изменить расположение отдельных болтов, то это можно легко сделать, так как они рисуются отдельно, а не массивом.

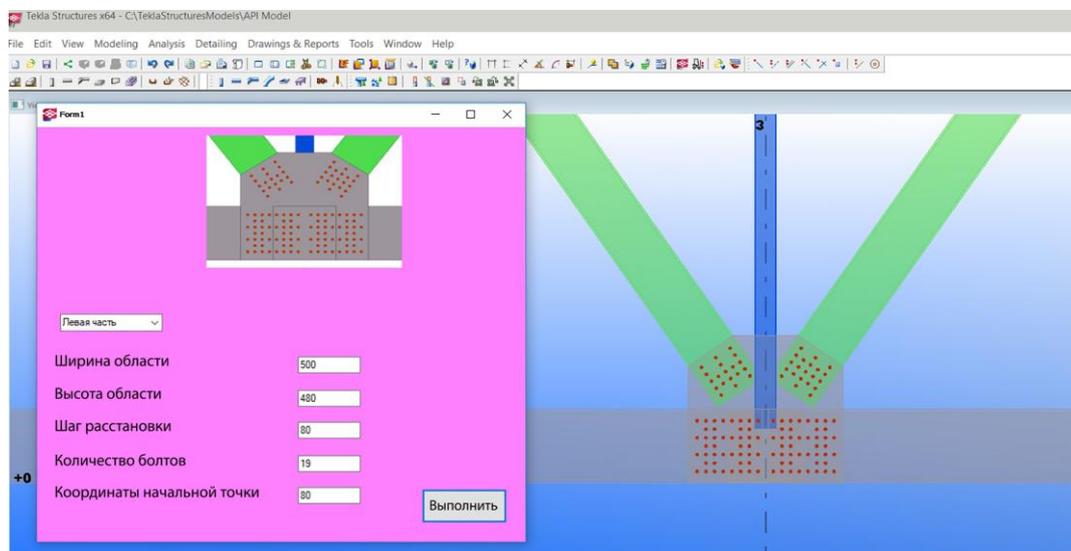


Рисунок 45 – Результат работы плагина для расстановки болтов

Использование предлагаемого алгоритма позволяет настроить удобную рабочую среду и повысить эффективность работы проектировщика при выполнении нестандартных, но рутинных задач. Алгоритм также может быть полезен в процессе обучения студентов и аспирантов строительных специальностей за счет своей формализации.

Современные технологии в проектировании транспортных и строительных объектов позволяют ускорить этот процесс и сделать его более эффективным. Расширение функционала программ для BIM с помощью плагинов позволяет проектировщику снизить вероятность ошибки и освободить время на поиск более эффективных решений.

ГЛАВА 3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1 Методы проведения прочностного анализа мостовых конструкций с помощью встроенных приложений

При выборе наиболее подходящего варианта требуется проводить расчеты конструкции [38]. Использование информационной модели позволяет ускорить этот процесс, так как предусмотрены различные возможности:

- расчет с помощью встроенных приложений расчета (используют обычно американские или европейские нормы)
- возможность экспорта модели в расчетные комплексы в различных форматах (можно использовать и российские нормы).

Особенно ценно, что можно передавать модель в виде расчетной схемы. В простых конструкциях корректировки не требуется, а в более сложных, возможно, придется дополнить расчетную схему, но не рисовать ее полностью.

Для расчета конструкций в Tekla Structures с помощью приложения расчета необходимо выполнить ряд действий. В зависимости от специфики проекта и используемого приложения расчета некоторые из действий могут быть не нужны, другие же понадобятся повторить или выполнить в другом порядке.

Прежде чем приступить к расчету, надо задать основные несущие детали, расчет которых необходимо выполнить. На этом этапе не требуется создавать узлы или соединения. В случае, когда модель полностью детализирована, или в физической модели больше деталей, чем требуется рассчитать, то ненужные детали можно исключить из расчета.

Создать группу нагрузок можно, добавив новую группу или путем изменения группы, предусмотренной по умолчанию. Любую существующую

группу нагрузок можно изменять так же, как и предусмотренную по умолчанию группу нагрузок. При создании нагрузок существует два варианта действий: можно задать свойства нагрузки до ее создания, или же можно изменить свойства после создания нагрузки. Прежде чем приступать к созданию нагрузок, надо определить группы нагрузок и задать текущую группу нагрузок.

Создав новую расчетную модель из выбранных деталей и нагрузок, надо проверить расчетную модель и расчетные детали на виде модели Tekla Structures и при необходимости внести изменения. Можно добавить основные балки и другие необходимые объекты в эту же расчетную модель. При необходимости можно внести изменения в расчетную модель, расчетные элементы или в их свойства. Например, задать закрепления и условия опирания концов для расчетных элементов, а также для соединений; добавить, переместить или объединить расчетные узлы; добавить или удалить элементы или нагрузки. При необходимости можно создать альтернативные расчетные модели или подмодели.

Далее необходимо экспортировать расчетную модель в приложение расчета и выполнить расчет. При необходимости можно добавить специальные нагрузки и другие настройки, требуемые приложением расчета.

При необходимости с помощью приложения расчета возможно выполнить обработку расчетной модели или результатов расчета. Например, можно изменить профили деталей. После внесения изменений необходимо выполнить расчет еще раз. Если результаты расчета потребовали внесения изменений в модель в приложении расчета, следует импортировать изменения в Tekla Structures.

3.2 Выполнение прочностного анализа мостовых конструкций с помощью сторонних приложений

В настоящее время большинство расчётов мостовых конструкций [54] выполняются по плоским расчётным схемам, что не всегда соответствует реальным инженерно-архитектурами условиям. Внедрение технологии

информационного моделирования позволяет выполнять пространственный расчет с необходимым уровнем детализации.

Для выполнения прочностных расчетов в программах, не встроенных в комплексы информационного моделирования, существует возможность взаимодействия с этими комплексами.

Взаимодействие часто рассматривается как недостающее звено между различными программными системами. Оно позволяет использовать в различных приложениях одни и те же объекты, геометрию и свойства. Взаимодействие – это процесс, который позволяет разным системам и организациям работать вместе. Это означает возможность построения общих 3D-моделей или использования информации и геометрии, определенных в одной системе, в других системах, имеющих другой формат. Например, трехмерную несущую конструкцию из приложения моделирования можно передать в систему расчета и проектирования и работать с ней в этой системе.

В Tekla Structures импорт и экспорт могут использоваться для различных целей:

- В Tekla Structures можно импортировать опорные модели. Например, в качестве опорной модели можно импортировать архитектурную модель, модель технологического оборудования или модель сетей отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК). Опорные модели также могут представлять собой простые двумерные чертежи, импортируемые и используемые в качестве компонок, прямо на которых строится модель.
- Можно импортировать 2D- или 3D-модели, созданные в других программах, чтобы затем детализировать конструктивные объекты и манипулировать ими в Tekla Structures. Закончив работу над моделью, ее можно экспортировать и вернуть на проверку архитектору или инженеру.
- Можно экспортировать модели Tekla Structures для использования в программах расчета и проектирования (несколько форматов) [29]. Затем результаты проектирования и расчета можно импортировать назад в модель Tekla Structures.

- Можно экспортировать данные для использования в производственных информационных системах и на стадии изготовления:
- Можно экспортировать данные ЧПУ для использования на автоматизированном режущем, сверлильном и сварочном оборудовании с ЧПУ (числовым программным управлением).
- Можно экспортировать данные в производственные информационные системы (MIS) – например, чтобы изготовители конструкций могли отслеживать ход выполнения проекта.

Существует ряд форматов передачи файлов, ставших отраслевыми стандартами. Основные из них, поддерживаемые Tekla Structures, – это IFC, CIS/2, DSTV, SDNF, DGN, DXF, DWG, IGES и STEP [51]. Также предусмотрена поддержка более старых форматов. Для более тесной интеграции можно подключаться к Tekla Structures с использованием открытого API Tekla (Tekla Open API).

В Tekla Structures предусмотрены возможности для импорта и экспорта ряда форматов. В таблице 1 перечислены некоторые из форматов, которые можно использовать в Tekla Structures для импорта и экспорта данных, а также указаны программные продукты, связанные с этими форматами.

Таблица 1

| Формат | Импорт | Экспорт |
|---|--------|---------|
| aSa (ТЕК) | | X |
| Autodesk (.dwg) | X | X |
| Autodesk (.dxf) | X | X |
| Bentley ISM | X | X |
| BIM Collaboration Format (.bof) | X | X |
| BVBS (.abs) | | X |
| Модели Cadmatic (.3dd); | X | |
| CIS/2 LPM5/LPM6 (расчеты) (.stp, .p21, step) | X | X |
| CIS/2 LPM5/LPM6 (проектирование) (.stp, .p21, step) | X | X |
| CIS/LPM6 (производство) (.stp, .p21, step) | | X |
| CPIxml | | X |
| DSTV (.nc, .stp, .mis) | X | X |
| EJE | | X |
| Elematic ELiPLAN, ELiPOS (.eli) | X | X |
| EPC | | X |
| Fabsuite (.xml) | X | X |
| KISS-файл FabTrol (.kss) | | X |

Tekla Structures интегрируется со многими промышленными решениями, такими как Staad Pro, PDS, PDMS, ЛираСАПР, SCAD, Лира, CSI Bridge и т.д., что позволяет организовать безошибочный и эффективный процесс проектирования.

Инструмент импорта и экспорта FEM в Tekla Structures поддерживает несколько форматов и содержит ряд параметров для импорта и экспорта моделей. FEM (Finite Element Method, метод конечных элементов) – это метод расчетов и вычислений, применяемый в проектировании строительных конструкций. Этот метод предполагает разделение целевого объекта на соответствующие конечные элементы, взаимно соединенные в точках, называемых узлами.

Для информационной модели моста Ситтаунг было выполнено сравнение двух вариантов ферм с различными характеристиками сечений. Для этого изменялась толщина профиля, оценивался общий вес конструкции и выполнялся расчет на собственный вес в программе SCAD (рисунки 46, 47, 48) [52].

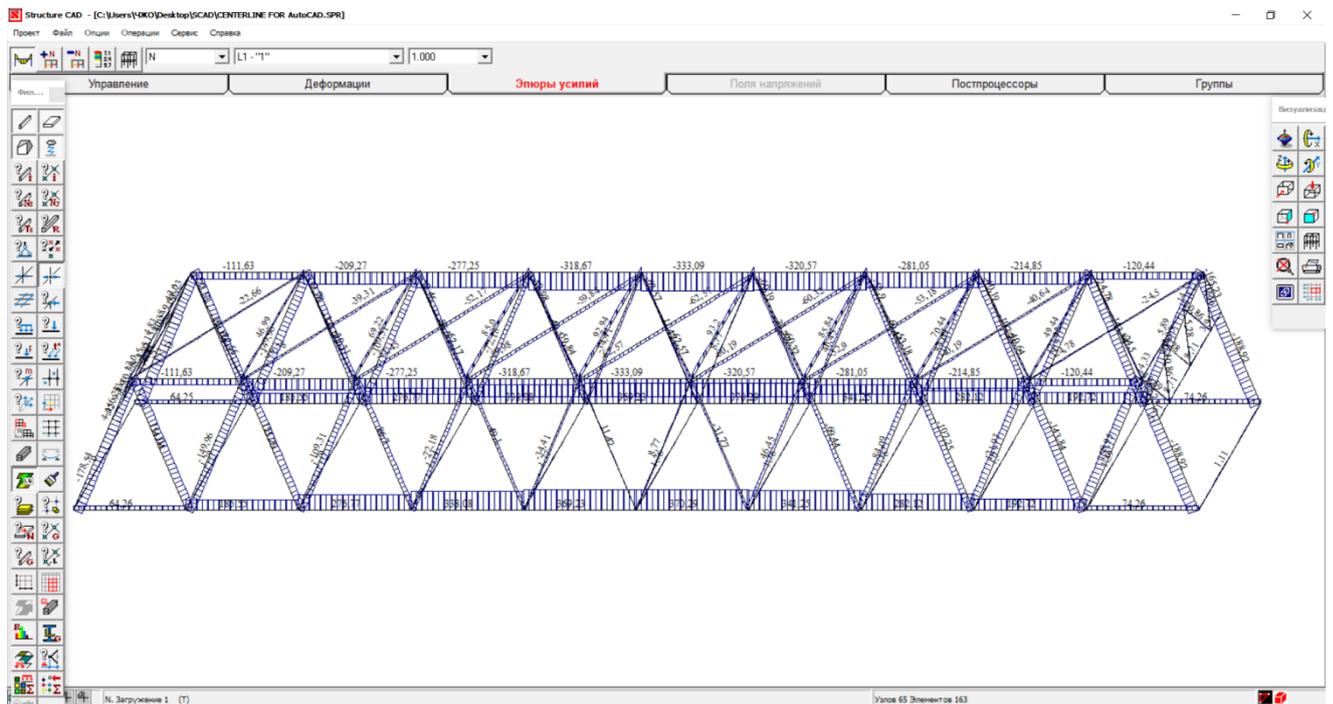


Рисунок 46 – Результаты расчета фермы в SCAD

Минимум усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

| Минимум усилий и напряжений | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|---------|---------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Фактор | Максимальные значения | | | | Минимальные значения | | | |
| | Значение | Элемент | Сечение | Загрузка | Значение | Элемент | Сечение | Загрузка |
| N | 312,225 | 80 | 1 | 1 | -292,755 | 210 | 1 | 1 |
| Mk | 0,936 | 27 | 1 | 1 | -0,936 | 25 | 1 | 1 |
| My | 25,382 | 85 | 3 | 1 | -67,133 | 85 | 1 | 1 |
| Qz | 11,387 | 85 | 1 | 1 | -4,259 | 45 | 3 | 1 |
| Mz | 7,057 | 27 | 3 | 1 | -7,057 | 25 | 3 | 1 |
| Qy | 2,687 | 44 | 1 | 1 | -2,687 | 42 | 1 | 1 |

Рисунок 47 – Результаты расчета фермы с двутавровым сечением в SCAD

Минимум усилий и напряжений

Единицы измерений: Т, м.

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: все

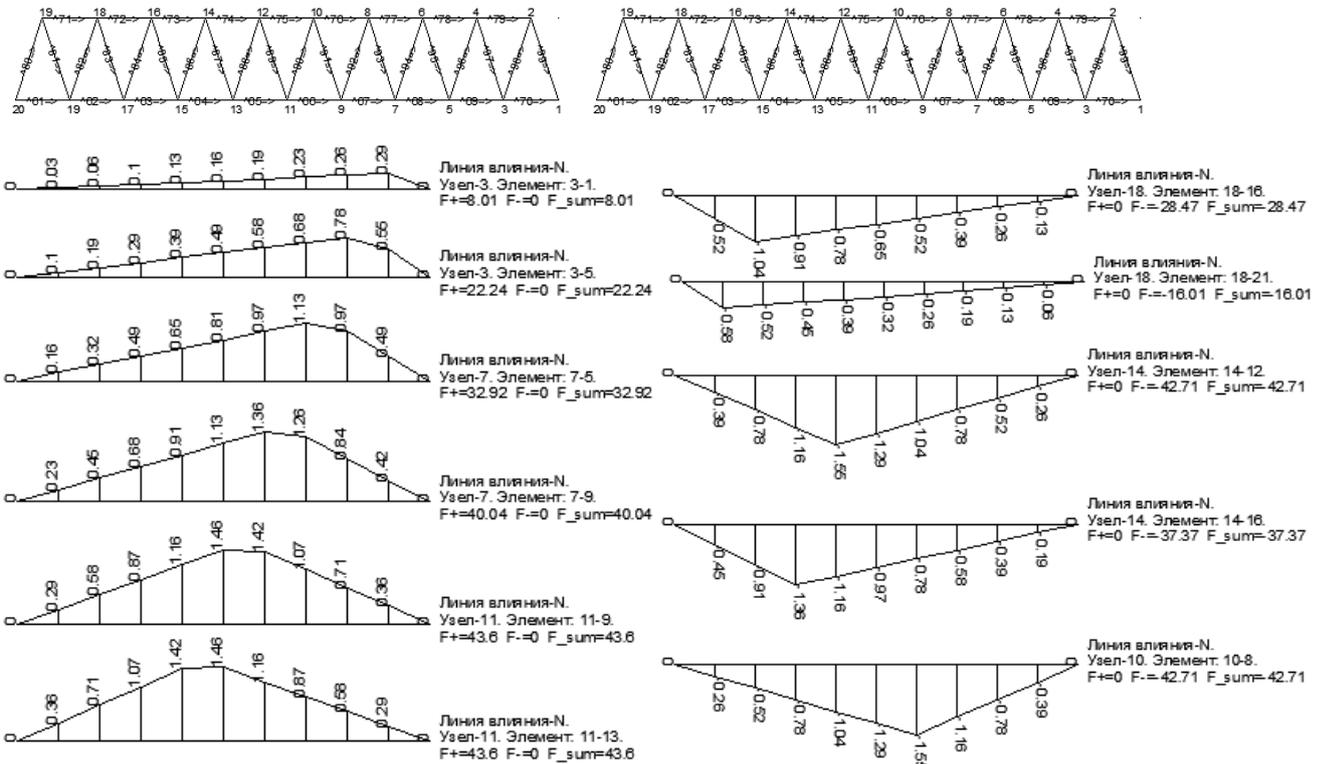
Список загрузений/комбинаций: все

Список факторов: все

| Минимум усилий и напряжений | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|---------|---------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Фактор | Максимальные значения | | | | Минимальные значения | | | |
| | Значение | Элемент | Сечение | Загрузка | Значение | Элемент | Сечение | Загрузка |
| N | 370,291 | 80 | 1 | 1 | -333,088 | 210 | 1 | 1 |
| Mk | 1,181 | 24 | 1 | 1 | -1,181 | 22 | 1 | 1 |
| My | 31,919 | 85 | 3 | 1 | -77,961 | 85 | 1 | 1 |
| Qz | 18,452 | 21 | 1 | 1 | -18,452 | 20 | 3 | 1 |
| Mz | 13,386 | 25 | 1 | 1 | -13,386 | 27 | 1 | 1 |
| Qy | 7,389 | 20 | 1 | 1 | -7,389 | 21 | 1 | 1 |

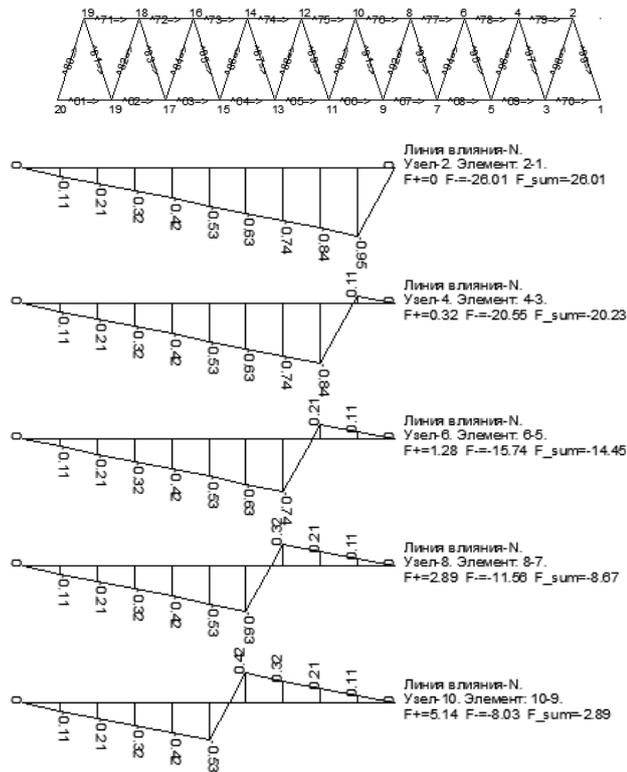
Рисунок 48 – Результаты расчета фермы с прямоугольным сечением в SCAD

Также был выполнен расчет на подвижные нагрузки (рисунок 49) в прочностном комплексе КАТРАН, разработанном на кафедре «Системы автоматизированного проектирования» МИИТ.



а)

б)



в)

Рисунок 49 – Расчет на подвижные нагрузки в КАТРАН:

- а) линии влияния перемещений узлов нижнего пояса;
- б) линии влияния продольных сил в нижнем поясе;
- в) линии влияния продольных сил в раскосах

Для лучшего взаимодействия между программами был написан плагин для генерации расчётных схем стержневых конструкций из Tekla в программы прочностного анализа. Плагин автоматически задает элементам различные слои, что позволяет быстрее производить настройку расчетной модели в прочностном комплексе.

ГЛАВА 4 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВОГО СООРУЖЕНИЯ

4.1 Методика оценки надёжности элементов эксплуатируемых мостов на основе вероятностной модели

Оценка надёжности элементов мостов в процессе эксплуатации представляет собой непростую и трудоёмкую задачу. Для ее решения необходимо установить закономерности изменения различных характеристик элементов, накопить необходимые статистические данные. В МИИТе разработана методика оценки усталостной долговечности и надёжности элементов металлических пролетных строений эксплуатируемых железнодорожных мостов [35, 53]. В основу методики положена модель, согласно которой усталостное разрушение наступает, если сумма накопленных повреждений достигает некоторой границы (в общем случае случайной величины).

При использовании данной модели условие безотказной работы элемента моста можно представить в виде

$$v \leq v_{OH},$$

где v – расчетное значение меры повреждения,

v_{OH} – значение меры повреждения, при котором обеспечена заданная надёжность.

В рассматриваемой модели вероятность безотказной работы элемента $P(v)$ связана с мерой повреждения v по нормальному закону.

Накопление повреждений в элементах мостов происходит по различным причинам: усталостные повреждения элементов, коррозия, расстройств болтовых соединений и другие факторы. Рассмотрим модель, когда опережающее накопление повреждений происходит преимущественно в одном из элементов металлических ферм (раскос, подвеска, нижний пояс), а работоспособность и

безопасность конструкции контролируется двумя уровнями предельных состояний. Допустим, что накопление повреждений в элементе носит монотонный характер и отражается параметром $v(t)$ (рисунок 50). При достижении параметром уровня v_{OH} появляется усталостная трещина, а при достижении уровня v_p происходит усталостное разрушение элемента конструкции.

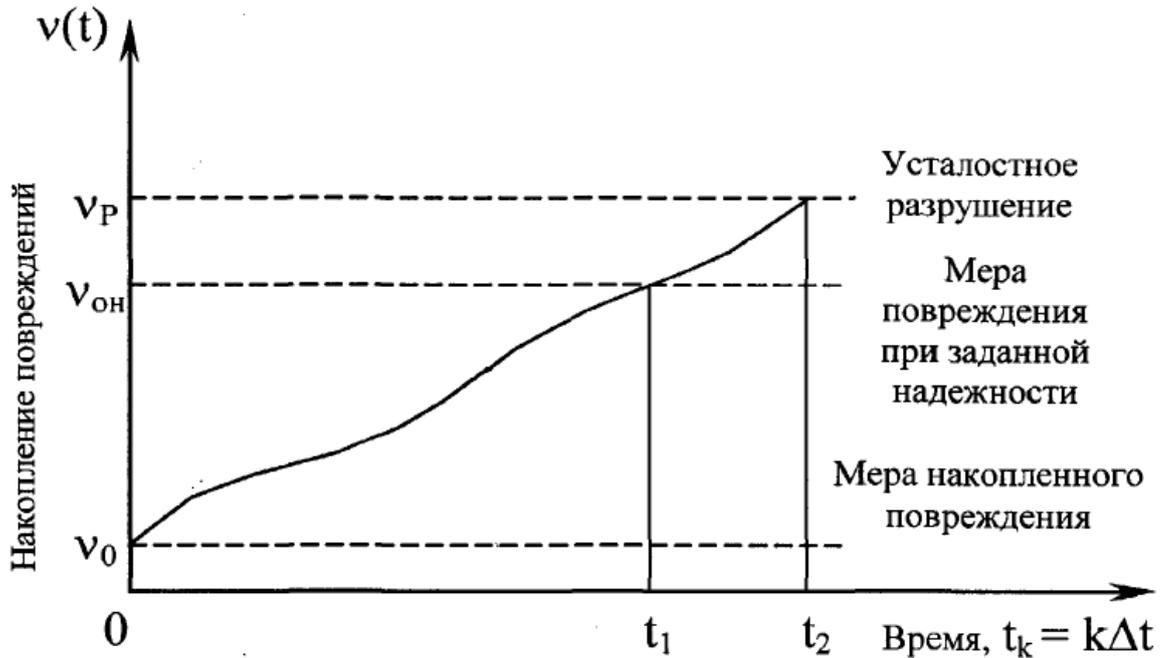


Рисунок 50 – Схема накопления повреждений в элементе

Рассмотрим математическую модель управления техническим состоянием моста с учетом усталостных повреждений, разработанную на кафедре «Мосты» МИИТа под руководством профессора Осипова В.О. [45,46,47].

Оценка надежности элемента по выносливости производится путем сравнения расчетной меры повреждения v с v_{OH} . Учитывая высокие требования к безопасности эксплуатации мостов и характер развития усталостных трещин, вероятность безотказной работы элементов металлических пролетных строений принимается не ниже 0,98, что соответствует $v_{OH} \leq 0,3$.

| | | | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| v_0 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 |
| $P(v_0)$ | 0,9990 | 0,9979 | 0,9955 | 0,9924 | 0,9845 | 0,9712 | 0,9515 | 0,9236 |

Долговечность элементов мостов определяется из условия равенства

расчетной меры повреждения $V_{НАК}$, определенной от суммарного воздействия нагрузки с начала эксплуатации, и $V_{ОН}$, соответствующей заданной надежности. При этом долговечность ресурса может быть выражена в количестве поездов или автомобилей определенных типов или во времени.

В соответствии с данной методикой оценки усталостной долговечности элементов металлических пролетных строений мостов, разработанной В.О. Осиповым [35, 48], остаточный ресурс, выраженный в количестве автомобилей, равен

$$N = \frac{V_{ОН} - V_{НАК}}{v'}$$

где $V_{НАК}$ – мера накопленных повреждений от прошедших автомобилей;

v' – мера повреждения от одного эталонного автомобиля.

На основе методики получены зависимости накопленной меры повреждения и вероятности безотказной работы элементов пролетных строений от количества автомобилей с учетом современной и перспективной нагрузки. Результаты, полученные по данной методике, для моста Ситтаунг (Республика Мьянма) представлены в таблице 2.

Таблица 2

| Длина пролета, м | Элемент | Мера повреждения за период эксплуатации | Остаточный усталостный ресурс, тыс. условных машин | Мера повреждения от одной условной машины |
|------------------|---------|---|--|---|
| 104 | H0-1 | 0.0008 | 271800 | $1.1001 \cdot 10^{-6}$ |
| | H1-2 | 0.0556 | 3103 | $7.4122 \cdot 10^{-5}$ |
| | H2-3 | 0.0373 | 5037 | $4.9732 \cdot 10^{-5}$ |
| | H3-4 | 0.0543 | 3302 | $7.2411 \cdot 10^{-5}$ |
| | H4-5 | 0.0489 | 3561 | $6.5234 \cdot 10^{-5}$ |
| | P1'-1 | 0.0256 | 12250 | $3.4116 \cdot 10^{-5}$ |
| | P2'-2 | 0.0293 | 8200 | $3.9056 \cdot 10^{-5}$ |
| | P3'-3 | 0.0248 | 8026 | $3.3061 \cdot 10^{-5}$ |
| | P4'-4 | 0.0108 | 7920 | $3.3703 \cdot 10^{-5}$ |
| | P5'-5 | 0.0177 | 6780 | $2.3608 \cdot 10^{-5}$ |

Накопление повреждений в элементах мостов происходит по различным причинам: усталостные повреждения элементов, коррозия, расстройки

болтовых соединений и другие факторы. Опыт эксплуатации мостов в современных условиях показывает, что рост интенсивности движения и увеличение грузоподъемности транспорта также снижают вероятность безотказной работы элементов.

Оценка накопления повреждений ведется путем мониторинга количества проезжающих по мосту автомобилей.

4.2 Интеграция результатов мониторинга в информационные модели мостов с помощью технологии разработки проблемно-ориентированных плагинов

Мониторинг технического состояния мостов – актуальная задача, которая позволяет оперативно контролировать и анализировать данные для правильного и эффективного управления поведением мостов [56].

Технология информационного моделирования – это технология не только проектирования «с нуля» мостовых сооружений. Создаваемая информационная модель моста очень полезна для уже существующих объектов, поскольку содержит всю необходимую информацию о них, а задача обслуживающих организаций – грамотно этой информацией распоряжаться [13].

При эффективной сети передачи данных с датчиков, установленных на мостовой конструкции, можно быстро передавать информацию сразу в информационную модель, обновляя ее (рисунок 51).

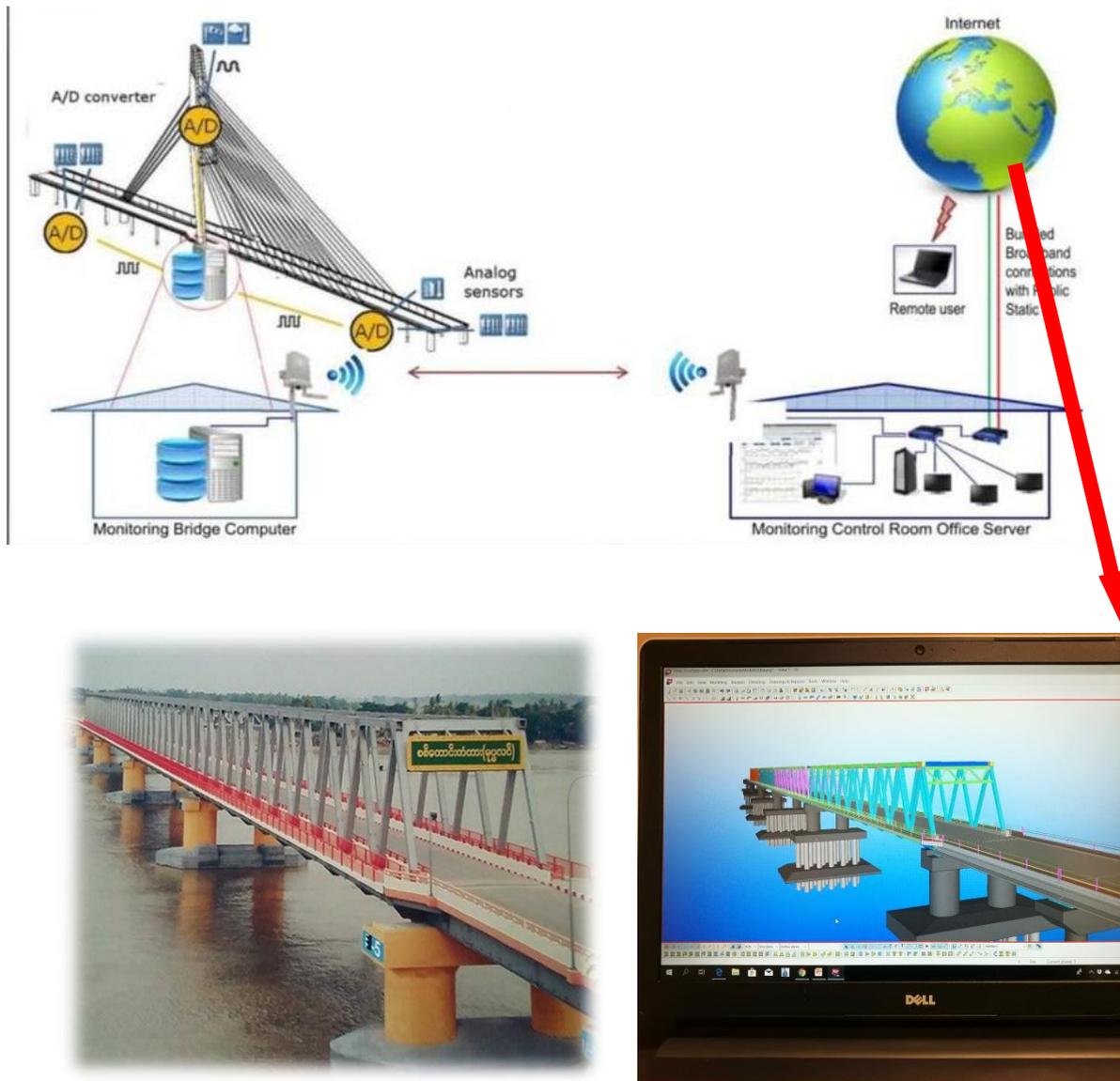


Рисунок 51 – Передача результатов мониторинга в информационную модель

Использование технологии информационного моделирования позволяет расширять базу свойств элементов модели путем адаптации программного обеспечения с помощью плагинов – прикладного программного обеспечения, функционирующего в среде информационного моделирования [57,58]. Плагины – это мощное средство, позволяющее существенно улучшить процесс эксплуатации определённого вида конструкции.

4.1.1 Алгоритм расчёта оптимального интервала ремонта элементов металлических ферм мостовых сооружений на основе мониторинга

Чтобы обеспечить заданную надёжности металлических пролетных строений мостов необходимо уменьшать период между ремонтами поврежденных элементов или проводить их усиление. Для определения периода между ремонтами поврежденных элементов будем рассматривать мост как сложную техническую систему. Тогда оптимальный межремонтный интервал можно определить на основе модели предупредительных замен «слабых звеньев» в длительно эксплуатируемой системе [47].

Рассмотрим функционирующий в системе элемент с возрастающей функцией интенсивности отказов (стареющий элемент). Например, таким элементом будет раскос металлической фермы пролетного строения моста. Сделаем очевидное допущение, что стареющие элементы имеют пренебрежимо малую вероятность отказа при отсутствии подвижной нагрузки. Введем обозначение: T_0 – среднее время безотказной работы элемента, т.е. время от начала эксплуатации до достижения заданного предельного уровня надёжности $v_{OH} \leq 0,3$ (до достижения вероятности безотказной работы $P(T_0) = 0,98$).

Элемент можно заменить еще исправным в порядке профилактического обслуживания или в аварийном порядке (при отказе). Обозначим время замены работоспособного элемента через T_1 , а время замены отказавшего элемента через T_2 . Предполагаем T_1 меньше T_2 .

Время в данной математической модели считается в условных единицах: за единицу мы примем интервал времени, в течение которого по мосту проходит 1000 условных машин. Для мостов с различной интенсивностью движения этот интервал, выраженный в годах, будет разным, а выраженный в тысячах условных машин – одинаковым. Определим интервал предупредительных замен элемента – время, по истечении которого элемент должен быть заменен (отремонтирован).

Показателем, по которому выбирается оптимальное значение интервала предупредительных замен заданного элемента, является вероятность $p(x, t)$. Этот

показатель имеет следующий смысл: вероятность застать элемент в работоспособном состоянии в произвольный момент t и проработать безотказно после момента t в течение времени x . На практике рекомендуется выбирать интервал x как наименьшее время, превышающее сумму T_2 и возможных задержек. Допустим, что времена плановых замен элемента являются реализациями некоторой случайной величины T , имеющей распределение $G(t)$. Интервалы между ремонтами (заменами) элемента образуют во времени последовательность независимых, одинаково распределенных случайных величин с функцией распределения $F(t)$.

Элемент заменяется (ремонтируется) профилактически через случайное время, распределенное в соответствии с функцией распределения $G(t)$, либо сразу после отказа:

$$G(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq \tau \\ 1 & \text{при } t > \tau \end{cases}$$

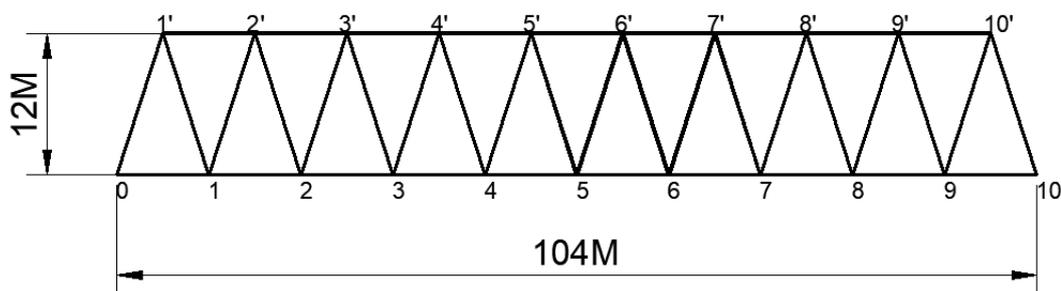
Рассмотрим реализацию математической модели определения оптимального интервала предупредительных замен элементов металлической фермы.

Время τ , по истечении которого элемент должен быть заменен, определяется по формуле:

$$a\tau \int_0^{\tau} e^{-\frac{at^2}{2}} dt + e^{-\frac{a\tau^2}{2}} - 1 = C,$$

где $C = \frac{T_1}{T_2 - T_1 + x}$, $a = \frac{\pi}{2T_0^2}$.

Для определения оптимального интервала предупредительных замен T_0 с помощью уравнения необходимо знать числовые значения констант T_0 , T_1 , T_2 и x . В качестве исследуемого элемента фермы взяли раскос.



T_0 – это полный усталостный ресурс элемента, т.е. наработка до отказа при заданной вероятности безотказной работы. Обозначим эту величину, выраженную в условных машинах, через N_0 . Тогда полный усталостный ресурс можно определить следующим образом.

где T – выработанный усталостный ресурс, т.е. количество прошедших условных машин;

$T_0 - T$ – остаточный усталостный ресурс, т.е. количество условных машин, оставшееся до выработки полного ресурса.

Значение величины T_0 зависит от расчетного пролета фермы, от типа элемента и от типа условных машин.

В частности для раскосов $P5' - 5$ пролетных строений рассматриваемой фермы $T_0 = 6780$ тыс. условных машин.

4.1.2 Проблемно-ориентированный плагин для расчёта оптимального интервала ремонта элементов металлических ферм мостовых сооружений на основе мониторинга

Для обработки результатов мониторинга в информационной модели был написан проблемно-ориентированный плагин, реализующий модель оценки надежности эксплуатируемого моста на основе двух уровней предельных состояний S_1 и S_2 . Напомним, что при достижении параметром уровня S_1 появляется усталостная трещина, а при достижении уровня S_2 происходит усталостное разрушение элемента конструкции [59].

Программа отслеживает накопление повреждений, чтобы не допустить этих предельных состояний, и с помощью цветовой шкалы показывает степень накопленных повреждений отдельных элементов.

Ввод данных для демонстрационной версии осуществляется вручную через диалоговое окно (рисунок 52). На практике информация поступает в программу с датчиков, установленных на элементах или с датчиков, ведущих счет

проезжающих автомобилей.

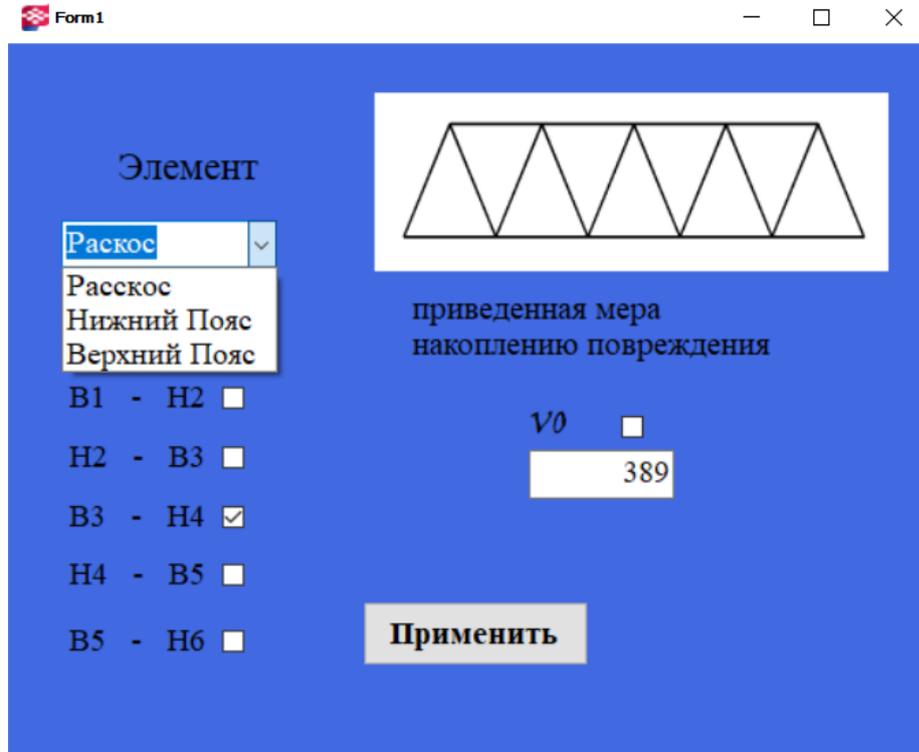


Рисунок 52 – Диалоговое окно программы оценки надежности элементов

Результатом работы плагина является трехмерное изображение металлической фермы с цветовым изображением степени накопленных повреждений (рисунок 53).

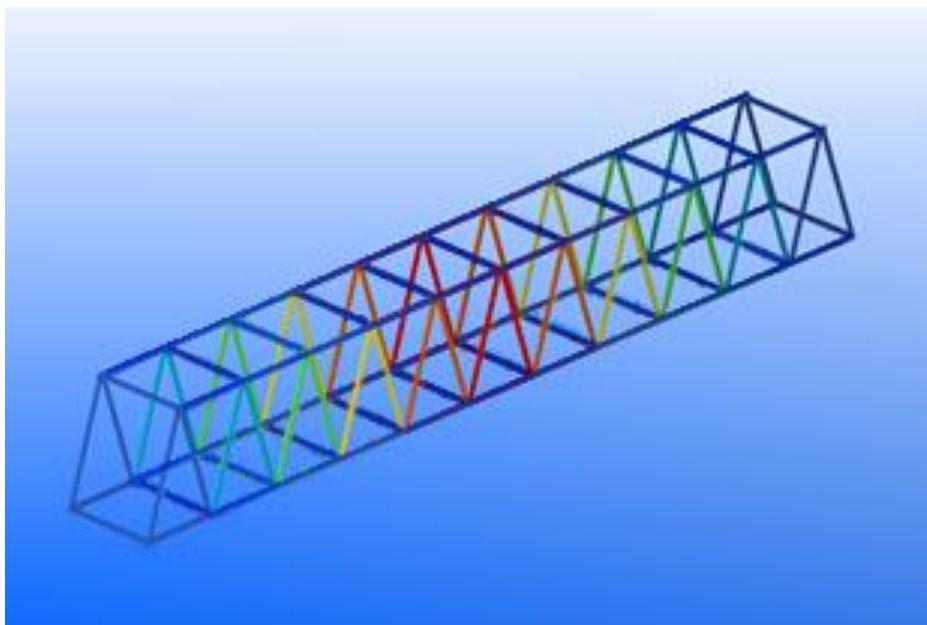


Рисунок 53 – Результат работы: цветное отображение степени

накопленных повреждений в элементах моста

Схема взаимодействия результатов мониторинга, программы для оценки надежности элементов моста и информационной модели моста представлена на рисунке 54.

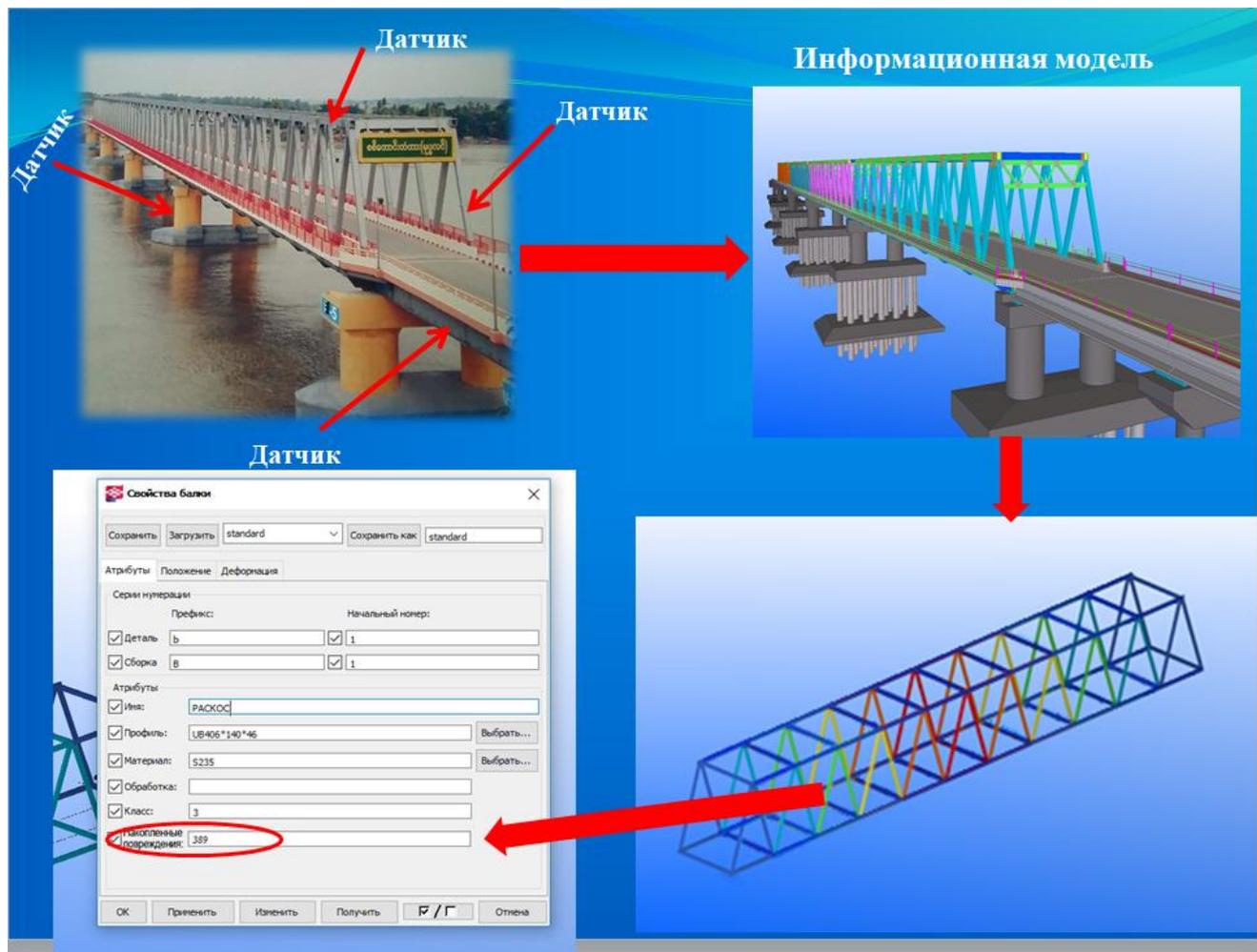


Рисунок 54 – Схема интеграции результатов мониторинга в информационную модель

Таким образом, интеграция результатов мониторинга в информационную модель моста на этапе эксплуатации помогает своевременно отслеживать степень накопленных повреждений для отдельных элементов, что позволит повысить надежность и долговечность мостовой конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основании выполненных автором исследований предложены новые научно обоснованные технологические решения по повышению качества проектирования и эксплуатации мостовых сооружений, имеющие существенное значения для транспортной системы страны. Они перечислены ниже в виде итогов, рекомендаций и перспектив дальнейшей разработки:

1. Проведенное исследование показало, что в настоящее время наиболее эффективным средством достижения высоких скоростей строительства и повышения надежности мостовых сооружений в процессе эксплуатации является использование технологии информационного моделирования в мостостроении. Рассмотренная технология является очень полезным инструментом на всех этапах жизненного цикла мостов.
2. Разработаны отдельные семейства опор и балочных пролетных строений для моста Ситтаунг.
3. Разработано семейство металлических мостовых ферм с болтовыми соединениями.
4. Выполнена программная реализация, расширяющая функционал BIM-программы на этапе проектирования, с использованием проблемно-ориентированных плагинов для выбора различных типов сечений металлических ферм.
5. Выполнена программная реализация, расширяющая функционал BIM-программы на этапе проектирования, для автоматической расстановки болтов в узловых соединениях.
6. Создан плагин для автоматической генерации расчетных схем пространственных ферм, выполняющая подготовку расчетной схемы фермы для системы прочностного анализа.
7. Создан плагин, выполняющий интеграцию результатов мониторинга в информационную модель для отслеживания степени накопления

усталостных повреждений выбранных элементов мостового сооружения, что позволяет повысить надежность мостового сооружения на этапе эксплуатации за счёт улучшения оценки надежности отдельных элементов и интеграции существующих методик и результатов мониторинга с информационной моделью моста.

8. Создана информационная модель моста Ситтаунг в Республике Мьянма с помощью обратного инжиниринга и разработанных программ. На ее примере показана эффективность технологии информационного моделирования не только для проектируемых, но и для эксплуатируемых мостов.
9. Рекомендовано применение технологии информационного моделирования на этапе эксплуатации для снижения количества ошибок за счет выполнения необходимых расчётов на любом этапе функционирования объекта с учётом результатов мониторинга.
10. Рекомендовано внедрение результатов исследований в проектные организации, в частности в ОАО «Институт Гипростроймост», и в организации, занимающиеся обслуживанием мостов.
11. Перспективой дальнейшей разработки темы диссертационного исследования является расширение использования технологии информационного моделирования для повышения надежности эксплуатируемых мостов на основе интеграции в цифровую модель мостового сооружения новых технологий мониторинга средствами неразрушающего контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Arama, S. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain [Электронный ресурс] / S. Arama, C. Eastman, R. Sacks // Automation in Construction. – 2006. – Режим доступа: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/requirements-for-bim-platforms-in-the-concrete-reinforcement-supply-5JZJpkb1Ql>.
2. Aziz, D. ICT Evolution in Facilities Management (FM): Building Information Modelling (BIM) as the Latest Technology / D. Aziz, A. H. Nawawi, R. M. Ariff // Social and Behavioral Sciences. – 2016. – № 234. – С. 363–371.
3. Barlish, K. How to measure the benefits of BIM — A case study approach / K. Barlish, K. Sullivan // Automation in Construction. – 2012. – Vol. 24. – С. 149–159.
4. Chan, S. L. Non-linear behavior and design of steel structures / S. L. Chan // Journal of Constructional Steel Research. – 2001. – Vol. 57. – С. 1217–1231.
5. Changsu Shim. Application of 3D Bridge Information Modeling to Design and Construction of Bridges / Changsu Shim, Nuri Yun, Hyunhye Song // The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. – 2011. – № 14. – С. 95- 99.
6. Chena, K. Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework/ K. Chena , W. Lua, Y. Peng, S. Rowlinson, Q. Huang // International Journal of Project Management. – 2015. – № 33. – С. 1405-1416.
7. Chuck Eastman. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors / Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston // BIM handbook 2nd edition. – 2011. – 611с.
8. Gaoa, G. Concept-based automatic semantic annotation of online BIM product resources / G. Gaoa, Y. Liua, P. Lina, M. Wanga, M. Gua, J. Yonga // BIMTag. – 2017. – № 31. С. 48-61.

9. Jalaei, F. Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings / F. Jalaei, A. Jraide // Sustainable Cities and Society. – 2015. – № 18. – C. 95-107.
10. Joseph Albahari, Ben Albahari C# 6.0 in a Nutshell: The Definitive Reference, USA, O'Reilly Media Inc. – 2016. – 1040 c.
11. Kim, Y.H. Construction management using integrated 3D information model technology / Y. H. Kim, S. H. Kim, C. S. Shim // International Conference on Computational Design in Engineering (CODE2009), Seoul. – 2009. – C. 29-32.
12. Kyaw Zin Aung. Methods for improving the efficiency of building and operating bridges using BIM technologies / Smirnova O.V., Kyaw Zin Aung // Proceedings of IRF international conference in Singapore – 2018. – C. 51 - 55.
13. Kyaw Zin Aung. The Adaptation of Information Modeling Software for the Metal Truss Bridges Design and Utilize Bridges / Smirnova O.V, Kyaw Zin Aung // IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS). – Saint Petersburg.– 2018. – C. 491 - 494.
14. Kyaw Zin Aung. The adaptation of software for information modeling to design of trusses of metal bridges / O.V. Smirnova, Kyaw Zin Aung // Journal of Transportation Science and Technology. – Vol 27+28, May 2018. – C. 198 - 201.
15. Lee, Y.D. Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic / Y.D. Lee, B.T. Zhonga, S. Wub, H.B. Luoa // web technology. – 2016. – № 87. – C. 202-213.
16. Lee, K.M. Bridge information models for construction of a concrete box-girder bridge / K. M. Lee, Y. B. Lee, C. S. Shim, K. L. Park // Structure and Infrastructure Engineering. – 2010. – № 1. – C . 15-18.
17. Shim, C.S. Integrated construction project planning using 3D information models/ C. S. Shim, K. M. Lee, D. W. Kim, Y. B. Lee, K. L. Park // ICCEM & ICCPM. – Jeju. – 2009. – C. 18-20.
18. Shim, C.S. Collaborative Design of High-speed Railway Lines using 3D information models/ C. S. Shim, K. M. Lee, W.S. Son, J. W. Moon // IABSE

- Conference on Information and Communication Technology for Bridges, Buildings and Construction Practice. – 2008. – Proceeding of IABSE. – C33.
19. Sigalov, K. Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules / K. Sigalov, M. Konig // *Advanced Engineering Informatics*. – 2017. – № 31. С. 45-48.
 20. Smirnova, O.V. Creating automation tools with BIM-programs for designing elements of metal bridges / O.V. Smirnova, K.V. Smirnov // *Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS) September, 23-30, 2017*. – С. 773 - 776.
 21. Songa, S. Development of a BIM-based structural framework optimization and simulation system for building construction / S. Songa, J. Yanga, N. Kimb // *Computers in Industry*. – 2012. – Vol. 63. – С. 895-912.
 22. Stephen, A.J. BIM adoption and value / A. J. Stephen, M. B. Harvey // *Design and Construction Intelligence*. – 2012. – № 3. – С. 8-41.
 23. Stephen, C.W. A Case Study of Applying Virtual Prototyping in Construction / C. W. Stephen, Kong // *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Structural and Construction Engineering Vol:4*. – No 5.– 2010. – С. 104-109.
 24. Tekla Structures 2017 (2018). [Электронный ресурс] Available at: https://teklastructures.support.tekla.com/ru/2017/ru/sys_tekla_open_api.
 25. Yongjun Hea. Finite element analysis of the elastic static properties and stability of pretensioned cylindrical reticulated mega-structures / Yongjun Hea, Xuhong Zhoua, Xiaotong Zhanga // *Thin-Walled Structures*. – 2012. – Vol. 60. – С. 1– 11.
 26. Zoua, Y. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies / Y. Zoua, A. Kiviniemib, S.W. Jonesa // *Safety Science*. – 2016. – № 81. – С. 78-83.
 27. Александровна, П.Ф. Расчет мостов со сквозными главными фермами / П.Ф. Александровна // *Методические указания к курсовому и дипломному проектированию* – Москва: МИИТ. – 2009. – 44 с.

28. Ботяновский, А.А. Применение BIM-технологий и новейшего оборудования при исследовании фактического технического состояния мостового сооружения / А.А. Ботяновский, В.Г. Пастушков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. – № 1. – С. 342-345.
29. Ватин, Н.И. Расчет металлоконструкций: седьмая степень свободы / Н.И. Ватин, В.А. Рыбаков // Стройпрофиль. – 2007. – № 2. – С. 60
30. Ватин, Н.И. Большепролетные надземные пешеходные переходы из легкого холодногнутого стального профиля / Н.И. Ватин, А.С. Синельников // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 1. – С. 4753.
31. Гинзбург, А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта / А. В. Гинзбург // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 5(153). – С. 28-31.
32. Гутманн, К. Инновационный подход: высокоэффективное конструирование изделий в автомобилестроении [Электронный ресурс] / К. Гутманн // САПР и графика. – 2015. – №11. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/25059>
33. Деменев, А.В. Информационное моделирование при эксплуатации зданий и сооружений / А.В. Деменев, А.С. Артамонов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Том 7. – № 3. – С. 21-29.
34. Красковский, Д. Преимущества BIM-технологии в единстве источника информации об объекте / Д. Красковский // САПР и графика. – 2015. – № 12(230). – С. 62-63.
35. Круглов, В.М. Методика оценки и условий использования усталостного ресурса типичных простейших строений ГИПРОТРАНСА / В.М. Круглов, В.О. Осипов, Е.П. Феоктистова // Транспортное строительство. – 2008. – № 7. – с.11-15
36. Морина, Е.А. BIM-технологии в мостовом проектировании, Строительство уникальных зданий и сооружений / Е.А. Морина, А.И. Макаров // 2017. – №6 (57). – С. 30-46.
37. Мустафин, Н.Ш. Анализ возможности внедрения в строительство технологии информационного моделирования зданий программами вида BIM /

- Н.Ш. Мустафин, А.А. Барышников, А.М. Спрыжков // Региональное развитие. – 2015. – № 8. – С. 9-10.
38. Перельмутер, А.В. Интегрированная система для расчета и проектирования несущих конструкций зданий и сооружений SCAD Office. Новая версия, новые возможности / А.В. Перельмутер, Э.З. Криксунов, В.С. Карпиловский, А.А. Маляренко // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 2. – С. 10-12.
39. Полуэктов, В.В. Российский опыт применения BIM в архитектуре и градостроительстве / В.В. Полуэктов // Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании. – 2016. – С. 179-181.
40. Припутин, Н.А. Применение BIM-технологии в строительстве / Н.А. Припутин, А.Н. Леонова // Молодежь и новые информационные технологии. – 2016. – С. 301-304.
41. Румянцева, Е.В. BIM-технологии: подход к проектированию строительного объекта как единого целого / Е.В. Румянцева, Л.А. Манухина // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015. – № 5(18). – С. 33-36.
42. Рябин, И.А. Надежность и безопасность структурно сложных систем / И.А. Рябин // СПб.: Политехника. – 2000. – 210 с.
43. Скворцов, А.В. Модели данных BIM для инфраструктуры / А.В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 1(4). – С. 16-23.
44. Смазнов, Д.Н. Устойчивость при сжатии составных колонн, выполненных из профилей из высокопрочной стали / Д.Н. Смазнов // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 3. – С. 42-49.
45. Смирнов, В.Ю. Алгоритм оценки вероятности безотказной работы пролетного строения на основе остаточного ресурса элементов / В.Ю. Смирнов, О.В. Смирнова, Д.В. Шохирев // Вестник МИИТа. – 2004. – № 10. – С. 92-96.
46. Смирнова, О.В. Минимизация рисков экспертных заключений при оценке технического состояния моста./ Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). – 2001. – № 863. – 6 с.

47. Смирнова, О.В. Теоретические основы и методы управления техническим состоянием эксплуатируемых мостов / О.В. Смирнова // автореферат канд. технич. наук : 05.23.11. – Москва. – 2004. – 24 с.
48. Осипов, В.О. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб/ В.О. Осипов, Ю.Г. Козьмин, А.А. Кирста, Э.С. Карапетов, Ю.Г. Рузин // под ред. В.О. Осипова и Ю.Г. Козьмина. - М.: Транспорт. – 1996. - 471 с.
49. Сунцов, А.С. Основные принципы BIM-технологий и проблемы их внедрения в России / А.С. Сунцов, Е.Ю. Григорьев // Труды ДонНУЭТ им. Туган-Барановского. – 2015. – С . 309-313.
50. Талапов, В.В. Технология BIM: в основе лежит единая модель [Электронный ресурс] / В.В. Талапов // isicad.net – 2012. – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15056.
51. Талапов, В.В. Технология BIM -расходы на внедрение и доходы от использования [Электронный ресурс] / В.В. Талапов // isicad.net – 2014. – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16748.
52. Теплых, А. В. Применение оболочечных и объемных элементов при расчетах строительных стальных конструкций в программах SCAD и NASTRAN с учетом геометрической и физической нелинейности / А.В. Теплых // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 3. – С. 4-20.
53. Феоктистова, Е.П. Надежность пролетных строений проектировки Проектстальконструкции под нагрузку Н7 / Е.П. Феоктистова // Труды МИИТ. Юбилейный сборник кафедры «Мосты». – М.: МИИТ. – 1997. – С . 127-130.
54. Черняев, В.В. Реконструкция промышленного объекта по технологии BIM / В.В. Черняев // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ Им. В.Г. Шухова. – 2016. – С.1000-1003.
55. Чжо Зин Аунг, Анализ особенностей программ информационного моделирования при проектировании мостов / Чжо Зин Аунг // Мир Транспорта. – 2017. – № 6. – С. 148 - 154.

56. Чжо Зин Аунг. BIM-безопасность – объединяя строительство и эксплуатацию / Чжо Зин Аунг // Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Безопасность транспорта и сложных технических систем глазами молодежи». – М.: ИГУПС. – 2018. – С. 223 -226.
57. Чжо Зин Аунг. Анализ особенностей и возможности использования программы revit при проектировании мостов / Смирнова О.В, Чжо Зин Аунг // Инженерные сооружения на транспорте Сборник трудов – выпуск 7. – 2016. – С. 104 -108.
58. Чжо Зин Аунг. Возможности адаптации программы Tekla при проектировании элементов металлических мостов / О.В. Смирнова, Чжо Зин Аунг // Транспортное строительство. – 2017. – № 10. – С. 20 – 22.
59. Чжо Зин Аунг. Интеграция алгоритмов вероятностной оценки усталостного ресурса элементов пролётных строений в информационные модели эксплуатируемых мостов / Чжо Зин Аунг // Транспортное строительство. – 2018. – № 9. – С. 25-27.
60. Чжо Зин Аунг. Использование плагинов в BIM-программах для автоматизации работ при проектировании элементов мостов / Чжо Зин Аунг // Мир Транспорта. – 2018. – № 2. – С. 68 - 72.
61. Чжо Зин Аунг. Особенности создания информационной модели мостовых сооружений в программном комплексе Tekla / Чжо Зин Аунг // Всероссийской межвузовской конференции с международным участием «Современное состояние, проблемы, и перспективы развития отраслевой науки». – 2016. – С. 480 – 483.
62. Чжо Зин Аунг. Перспективы использование программных решений Tekla при проектировании и реконструкции мостов / Чжо Зин Аунг // Труды научно-практической конференции Неделя науки. – М.: МГУПС (МИИТ). – 2016. – П. С- 53-54.
63. Янич, Д. Структурный анализ моста через реку Сутонг Янцзы / Д. Янич, М. Пирчер, Г. Пирчер // Мостовое проектирование. – 2013. № 3. – С. 131-137.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Программный код

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

using Tekla.Structures;
using Tekla.Structures.Model;
using Tekla.Structures.Model.UI;
using t3d=Tekla.Structures.Geometry3d;
using Tekla.Structures.Datatype;
using Tekla.Structures.Dialog.UIControls;
using Tekla.Structures.Catalogs;
using Tekla.Structures.Dialog;
using Tekla.Structures.Model.Operations;

namespace BRACING
{
    public partial class Form1 : ApplicationFormBase
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Model Model = new Model();

            Picker Picker = new Picker();
            t3d.Point InsertPoint = Picker.PickPoint();

            double Width = System.Double.Parse(WidthBox.Text);
            double Height = System.Double.Parse(HeightBox.Text);
            double Length = System.Double.Parse(LengthBox.Text);
            double PannelLength = Length / 8;

            Beam C = new Beam(new t3d.Point(0, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(0, Width, 0) +
InsertPoint);
            Beam C1 = new Beam(new t3d.Point(PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
            Beam C2 = new Beam(new t3d.Point(2 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(2 *
PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);

```

Продолжение приложения А

```

Beam C3 = new Beam(new t3d.Point(3 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(3 *
PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam C4 = new Beam(new t3d.Point(4 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(4 *
PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam C5 = new Beam(new t3d.Point(5 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(5 *
PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam C6 = new Beam(new t3d.Point(6 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(6 *
PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam C7 = new Beam(new t3d.Point(7 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(7 *
PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam C8 = new Beam(new t3d.Point(8 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(8 *
PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam TC = new Beam(new t3d.Point(PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TC1 = new Beam(new t3d.Point(2 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(2 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TC2 = new Beam(new t3d.Point(3 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(3 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TC3 = new Beam(new t3d.Point(4 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(4 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TC4 = new Beam(new t3d.Point(5 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(5 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TC5 = new Beam(new t3d.Point(6 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(6 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TC6 = new Beam(new t3d.Point(7 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(7 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam[] Beams = { C, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, TC, TC1, TC2, TC3, TC4, TC5, TC6 };
Beam BW = new Beam(new t3d.Point(0, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(PannelLength,
Width, 0) + InsertPoint);
Beam BW1 = new Beam(new t3d.Point(PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(2 *
PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam BW2 = new Beam(new t3d.Point(2 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(3
* PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam BW3 = new Beam(new t3d.Point(3 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(4
* PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam BW4 = new Beam(new t3d.Point(4 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(5
* PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam BW5 = new Beam(new t3d.Point(5 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(6
* PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam BW6 = new Beam(new t3d.Point(6 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(7
* PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam BW7 = new Beam(new t3d.Point(7 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint, new t3d.Point(8
* PannelLength, Width, 0) + InsertPoint);
Beam BW8 = new Beam(new t3d.Point(0, Width, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(PannelLength, 0, 0) + InsertPoint);
Beam BW9 = new Beam(new t3d.Point(PannelLength, Width, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(2 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint);
Beam BW10 = new Beam(new t3d.Point(2 * PannelLength, Width, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(3 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint);

```

Продолжение приложения А

```

Beam BW11 = new Beam(new t3d.Point(3 * PannelLength, Width, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(4 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint);
Beam BW12 = new Beam(new t3d.Point(4 * PannelLength, Width, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(5 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint);
Beam BW13 = new Beam(new t3d.Point(5 * PannelLength, Width, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(6 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint);
Beam BW14 = new Beam(new t3d.Point(6 * PannelLength, Width, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(7 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint);
Beam BW15 = new Beam(new t3d.Point(7 * PannelLength, Width, 0) + InsertPoint, new
t3d.Point(8 * PannelLength, 0, 0) + InsertPoint);
Beam[] BWBS = { BW, BW1, BW2, BW3, BW4, BW5, BW6, BW7, BW8, BW9, BW10,
BW11, BW12, BW13, BW14, BW15 };
Beam TW = new Beam(new t3d.Point(PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new t3d.Point(2
* PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TW1 = new Beam(new t3d.Point(2 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(3 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TW2 = new Beam(new t3d.Point(3 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(4 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TW3 = new Beam(new t3d.Point(4 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(5 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TW4 = new Beam(new t3d.Point(5 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(6 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TW5 = new Beam(new t3d.Point(6 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(7 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint);
Beam TW6 = new Beam(new t3d.Point(PannelLength, Width, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(2 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint);
Beam TW7 = new Beam(new t3d.Point(2 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(3 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint);
Beam TW8 = new Beam(new t3d.Point(3 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(4 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint);
Beam TW9 = new Beam(new t3d.Point(4 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(5 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint);
Beam TW10 = new Beam(new t3d.Point(5 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(6 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint);
Beam TW11 = new Beam(new t3d.Point(6 * PannelLength, Width, Height) + InsertPoint, new
t3d.Point(7 * PannelLength, 0, Height) + InsertPoint);
Beam[] TWBS = { TW, TW1, TW2, TW3, TW4, TW5, TW6, TW7, TW8, TW9, TW10,
TW11 };
//Beam F1 = new Beam(new t3d.Point(10000, 0, Height), new t3d.Point(10000, Width,
Height));
Beam F2 = new Beam(new t3d.Point(6670, 0, Height - 4000) + InsertPoint, new
t3d.Point(6670, Width, Height - 4000) + InsertPoint);
Beam F3 = new Beam(new t3d.Point(6670, Width / 4, Height - 4000) + InsertPoint, new
t3d.Point(10000, Width/2, Height) + InsertPoint);
Beam F4 = new Beam(new t3d.Point(6670, Width / 4, Height - 4000) + InsertPoint, new
t3d.Point(10000, 0, Height) + InsertPoint);
Beam F5 = new Beam(new t3d.Point(6670, Width -(Width/ 3), Height - 4000) + InsertPoint,
new t3d.Point(10000, Width/2, Height) + InsertPoint);
Beam F6 = new Beam(new t3d.Point(6670, Width - (Width / 3), Height - 4000) + InsertPoint,
new t3d.Point(10000, Width, Height) + InsertPoint);

```

Продолжение приложения А

```

Beam[] Frontiers = { F2, F3, F4, F5, F6};
string WindBraceProfile = WindBraceProfileBox.Text;
string BottomDiagonalProfile = BottomDiagonalProfileBox.Text;
string TopDiagonalProfile = TopDiagonalProfileBox.Text;
string FrontalProfile = FrontalProfileBox.Text;
string Material = MaterialBox.Text;
string BottomDiagonalClass = "1";
string TopDiagonalClass = "2";
string FrontalClass = "3";
string WindBraceClass = "4";
foreach (Beam BottomDiagonal in BWBS)
{
    CreateDiagonal(BottomDiagonal, Material, BottomDiagonalClass,
BottomDiagonalProfileTypeComboBox);
}

foreach (Beam WindBrace in Beams)
{
    CreateWindBrace(WindBrace, Material, WindBraceClass,
WindBraceProfileTypeComboBox);
}

foreach (Beam Frontal in Frontiers)
{
    CreateFrontal(Frontal, Material, FrontalClass, FrontalProfileTypeComboBox);
    Frontal.Position.RotationOffset = RadianToDegree(Math.Atan(PannelLength / Height));
}

foreach (Beam TopDiagonal in TWBS)
{
    CreateDiagonal(TopDiagonal, Material, TopDiagonalClass,
TopDiagonalProfileTypeComboBox);
}
Model.CommitChanges();
}

private double RadianToDegree(double Angle)
{
    return 180.0 * Angle / Math.PI;
}
//
// BottomDiagonalProfileCatalog
//
private void BottomDiagonalProfileCatalog_SelectClicked(object sender, EventArgs e)
{
    BottomDiagonalProfileDialog.SelectedProfile = BottomDiagonalProfileBox.Text;
}
private void BottomDiagonalProfileCatalog_SelectionDone(object sender, EventArgs e)
{
    BottomDiagonalProfileBox.Text = BottomDiagonalProfileDialog.SelectedProfile; }

```

Продолжение приложения А

```

// TopDiagonalProfileCatalog
private void TopDiagonalProfileCatalog_SelectClicked(object sender, EventArgs e)
{
    TopDiagonalProfileDialog.SelectedProfile = TopDiagonalProfileBox.Text;
}
private void TopDiagonalProfileCatalog_SelectionDone(object sender, EventArgs e)
{
    TopDiagonalProfileBox.Text = TopDiagonalProfileDialog.SelectedProfile;
}
//
// ColumnProfileCatalog
//
private void WindBraceProfileCatalog_SelectClicked(object sender, EventArgs e)
{
    WindBraceProfileDialog.SelectedProfile = WindBraceProfileBox.Text;
}
private void WindBraceProfileCatalog_SelectionDone(object sender, EventArgs e)
{
    WindBraceProfileBox.Text = WindBraceProfileDialog.SelectedProfile;
}
//
// BracingProfileCatalog
//
private void FrontalProfileCatalog_SelectClicked(object sender, EventArgs e)
{
    FrontalProfileDialog.SelectedProfile = FrontalProfileBox.Text;
}
private void FrontalProfileCatalog_SelectionDone(object sender, EventArgs e)
{
    FrontalProfileBox.Text = FrontalProfileDialog.SelectedProfile;
}
//
// Material
//
private void MaterialSelect_Click(object sender, EventArgs e)
{
    List<MaterialItem> AllMaterials = new List<MaterialItem>();
    CatalogHandler CatalogHandler = new CatalogHandler();
    MaterialItemEnumerator Materials = CatalogHandler.GetMaterialItems();
    while (Materials.MoveNext())
    {
        MaterialItem Item = Materials.Current;
        AllMaterials.Add(Item);
    }
    MaterialSelectionForm SelectionForm = new MaterialSelectionForm(AllMaterials,
MaterialBox.Text);
    SelectionForm.ShowDialog();
    if (SelectionForm.DialogResult == DialogResult.OK)
        MaterialBox.Text = SelectionForm.SelectedMaterial;
}

```

Продолжение приложения А

```

private void CreateDiagonal(Beam Diagonal, string Material, string Class, ComboBox ComboBox)
{
    if (ComboBox.Text == "Двутавр")
    {
        CreateIBeam(Diagonal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "2 двутавра")
    {
        CreateTwoIBeams(Diagonal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "4 уголка (внутрь)")
    {
        CreateFourLBeamsInside(Diagonal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "4 L-Section (outward)")
    {
        CreateFourLBeamsOutside(Diagonal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "2 швеллера")
    {
        CreateTwoChannelBeam(Diagonal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "Пользовательское")
    {
        CreateUserBeam(Diagonal, Material, Class, ComboBox);
    }
}

private void CreateWindBrace(Beam WindBrace, string Material, string Class, ComboBox
ComboBox)
{
    if (ComboBox.Text == "Двутавр")
    {
        CreateIBeam(WindBrace, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "2 двутавра")
    {
        CreateTwoIBeams(WindBrace, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "4 уголка (внутрь)")
    {
        CreateFourLBeamsInside(WindBrace, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "4 L-Section (outward)")
    {
        CreateFourLBeamsOutside(WindBrace, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "2 швеллера")
    {
        CreateTwoChannelBeam(WindBrace, Material, Class, ComboBox);
    }
}

```

Продолжение приложения А

```

else if (ComboBox.Text == "Пользовательское")
{
    CreateUserBeam(WindBrace, Material, Class, ComboBox);
}
}
private void CreateFrontal(Beam Frontal, string Material, string Class, ComboBox ComboBox)
{
    if (ComboBox.Text == "Двуглав")
    {
        CreateIBeam(Frontal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "2 двуглава")
    {
        CreateTwoIBeams(Frontal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "4 уголка (внутри)")
    {
        CreateFourLBeamsInside(Frontal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "4 L-Section (outward)")
    {
        CreateFourLBeamsOutside(Frontal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "2 швеллера")
    {
        CreateTwoChannelBeam(Frontal, Material, Class, ComboBox);
    }
    else if (ComboBox.Text == "Пользовательское")
    {
        CreateUserBeam(Frontal, Material, Class, ComboBox);
    }
}
private void CreateIBeam(Beam Beam, string Material, string Class, ComboBox ComboBox)
{
    double h = 0, b = 0, t = 0, t1 = 0;
    if (ComboBox.Name.Contains("BottomDiagonal"))
    {
        h = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxT.Text);
        t1 = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxT1.Text);
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("TopDiagonal"))
    {
        h = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxT.Text);
        t1 = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxT1.Text);
    }
}

```

Продолжение приложения А

```

else if (ComboBox.Name.Contains("WindBrace"))
{
    h = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxH.Text);
    b = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxB.Text);
    t = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxT.Text);
    t1 = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxT1.Text);
}
else if (ComboBox.Name.Contains("Frontal"))
{
    h = System.Double.Parse(FrontalTextBoxH.Text);
    b = System.Double.Parse(FrontalTextBoxB.Text);
    t = System.Double.Parse(FrontalTextBoxT.Text);
    t1 = System.Double.Parse(FrontalTextBoxT1.Text);
}
Beam.Profile.ProfileString = "HI" + h + "-" + t + "-" + t1 + "*" + b;
Beam.Position.Depth = Position.DepthEnum.MIDDLE;
Beam.Material.MaterialString = Material;
Beam.Class = Class;
Beam.Insert();
}

private void CreateTwoIBeams(Beam Beam, string Material, string Class, ComboBox ComboBox)
{
    double h = 0, b = 0, t = 0, t1 = 0, L = 0;
    if (ComboBox.Name.Contains("BottomDiagonal"))
    {
        h = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxT.Text);
        t1 = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxT1.Text);
        L = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxL.Text);
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("TopDiagonal"))
    {
        h = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxT.Text);
        t1 = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxT1.Text);
        L = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxL.Text);
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("WindBrace"))
    {
        h = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxT.Text);
        t1 = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxT1.Text);
        L = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxL.Text);
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("Frontal"))

```

Продолжение приложения А

```

    {
        h = System.Double.Parse(FrontalTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(FrontalTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(FrontalTextBoxT.Text);
        t1 = System.Double.Parse(FrontalTextBoxT1.Text);
        L = System.Double.Parse(FrontalTextBoxL.Text);
    }
    Beam.Profile.ProfileString = "HI" + h + "-" + t + "-" + t1 + "*" + b;
    Beam.Position.Depth = Position.DepthEnum.MIDDLE;
    Beam.Position.PlaneOffset = L / 2 + b / 2;
    Beam.Material.MaterialString = Material;
    Beam.Class = Class;
    Beam.Insert();
    Beam Beam2 = Operation.CopyObject(Beam, new t3d.Vector((b + L),0, 0)) as Beam;
}
private void CreateFourLBeamsInside(Beam Beam, string Material, string Class, ComboBox
ComboBox)
{
    double h = 0, b = 0, t = 0, L = 0, L1 = 0;
    if (ComboBox.Name.Contains("BottomDiagonal"))
    {
        h = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxT.Text);
        L = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxL.Text);
        L1 = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxL1.Text);
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("TopDiagonal"))
    {
        h = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxT.Text);
        L = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxL.Text);
        L1 = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxL1.Text);
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("WindBrace"))
    {
        h = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxT.Text);
        L = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxL.Text);
        L1 = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxL1.Text);
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("Frontal"))
    {
        h = System.Double.Parse(FrontalTextBoxH.Text);
        b = System.Double.Parse(FrontalTextBoxB.Text);
        t = System.Double.Parse(FrontalTextBoxT.Text);
        L = System.Double.Parse(FrontalTextBoxL.Text);
        L1 = System.Double.Parse(FrontalTextBoxL1.Text);    }
}

```

Продолжение приложения А

```

// Левая нижняя
Beam.Profile.ProfileString = "L" + L + "*" + L1 + "*" + t;
Beam.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
Beam.Position.Plane = Position.PlaneEnum.RIGHT;
Beam.Material.MaterialString = Material;
Beam.Class = Class;
Beam.Insert();
Operation.MoveObject(Beam, new t3d.Vector(-(L1 + b / 2), 0, (L + h / 2)));
//Правая верхняя
Beam Beam2 = new Beam(Beam.StartPoint, Beam.EndPoint);
Beam2.Profile.ProfileString = Beam.Profile.ProfileString;
Beam2.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
Beam2.Position.Plane = Position.PlaneEnum.RIGHT;
Beam2.Position.Rotation = Position.RotationEnum.BELOW;
Beam2.Material.MaterialString = Material;
Beam2.Class = Class;
Beam2.Insert();
Operation.MoveObject(Beam2, new t3d.Vector((b / 2), 0, -(h / 2)));
//Левая верхняя
Beam Beam3 = new Beam(Beam.StartPoint, Beam.EndPoint);
Beam3.Profile.ProfileString = "L" + L1 + "*" + L + "*" + t;
Beam3.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
Beam3.Position.Plane = Position.PlaneEnum.RIGHT;
Beam3.Position.Rotation = Position.RotationEnum.BACK;
Beam3.Material.MaterialString = Material;
Beam3.Class = Class;
Beam3.Insert();
Operation.MoveObject(Beam3, new t3d.Vector(-(L1 + b / 2), 0, -(h / 2)));
//Правая нижняя
Beam Beam4 = new Beam(Beam.StartPoint, Beam.EndPoint);
Beam4.Profile.ProfileString = Beam3.Profile.ProfileString;
Beam4.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
Beam4.Position.Plane = Position.PlaneEnum.RIGHT;
Beam4.Position.Rotation = Position.RotationEnum.FRONT;
Beam4.Material.MaterialString = Material;
Beam4.Class = Class;
Beam4.Insert();
Operation.MoveObject(Beam4, new t3d.Vector((b / 2), 0, (L + h / 2)));
}
private void CreateFourLBeamsOutside(Beam Beam, string Material, string Class, ComboBox
ComboBox)
{
double h = 0, b = 0, t = 0, L = 0, L1 = 0;
if (ComboBox.Name.Contains("BottomDiagonal"))
{
h = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxH.Text);
b = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxB.Text);
t = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxT.Text);
L = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxL.Text);
L1 = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxL1.Text);
}
}

```

Продолжение приложения А

```

else if (ComboBox.Name.Contains("TopDiagonal"))
{
    h = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxH.Text);
    b = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxB.Text);
    t = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxT.Text);
    L = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxL.Text);
    L1 = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxL1.Text);
}
else if (ComboBox.Name.Contains("WindBrace"))
{
    h = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxH.Text);
    b = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxB.Text);
    t = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxT.Text);
    L = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxL.Text);
    L1 = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxL1.Text);
}
else if (ComboBox.Name.Contains("Frontal"))
{
    h = System.Double.Parse(FrontalTextBoxH.Text);
    b = System.Double.Parse(FrontalTextBoxB.Text);
    t = System.Double.Parse(FrontalTextBoxT.Text);
    L = System.Double.Parse(FrontalTextBoxL.Text);
    L1 = System.Double.Parse(FrontalTextBoxL1.Text);
}
// Правая нижняя
Beam.Profile.ProfileString = "L" + L + "*" + L1 + "*" + t;
Beam.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
Beam.Position.Plane = Position.PlaneEnum.LEFT;
Beam.Material.MaterialString = Material;
Beam.Class = Class;
Beam.Insert();
Operation.MoveObject(Beam, new t3d.Vector(-(L1 + b / 2), 0, -(L + h / 2)));
// Левая верхняя
Beam Beam2 = new Beam(Beam.StartPoint, Beam.EndPoint);
Beam2.Profile.ProfileString = Beam.Profile.ProfileString;
Beam2.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
Beam2.Position.Plane = Position.PlaneEnum.RIGHT;
Beam2.Position.Rotation = Position.RotationEnum.BELOW;
Beam2.Material.MaterialString = Material;
Beam2.Class = Class;
Beam2.Insert();
Operation.MoveObject(Beam2, new t3d.Vector((L1 + b / 2), 0, (h / 2)));
//Правая верхняя
Beam Beam3 = new Beam(Beam.StartPoint, Beam.EndPoint);
Beam3.Profile.ProfileString = "L" + L1 + "*" + L + "*" + t;
Beam3.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
Beam3.Position.Plane = Position.PlaneEnum.RIGHT;
Beam3.Position.Rotation = Position.RotationEnum.BACK;
Beam3.Material.MaterialString = Material;
Beam3.Class = Class;

```

Продолжение приложения А

```

Beam3.Insert();
Operation.MoveObject(Beam3, new t3d.Vector(-(b / 2), 0, (h / 2)));
//Левая нижняя
Beam Beam4 = new Beam(Beam.StartPoint, Beam.EndPoint);
Beam4.Profile.ProfileString = Beam3.Profile.ProfileString;
Beam4.Position.Depth = Position.DepthEnum.FRONT;
Beam4.Position.Plane = Position.PlaneEnum.RIGHT;
Beam4.Position.Rotation = Position.RotationEnum.FRONT;
Beam4.Material.MaterialString = Material;
Beam4.Class = Class;
Beam4.Insert();
Operation.MoveObject(Beam4, new t3d.Vector((L1 + b / 2), 0, -(L + h / 2)));
}
private void CreateTwoChannelBeam(Beam Beam, string Material, string Class, ComboBox
ComboBox)
{
double h = 0, b = 0, t = 0, L = 0;
if (ComboBox.Name.Contains("BottomDiagonal"))
{
h = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxH.Text);
b = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxB.Text);
t = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxT.Text);
L = System.Double.Parse(BottomDiagonalTextBoxL.Text);
}
else if (ComboBox.Name.Contains("TopDiagonal"))
{
h = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxH.Text);
b = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxB.Text);
t = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxT.Text);
L = System.Double.Parse(TopDiagonalTextBoxL.Text);
}
else if (ComboBox.Name.Contains("WindBrace"))
{
h = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxH.Text);
b = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxB.Text);
t = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxT.Text);
L = System.Double.Parse(WindBraceTextBoxL.Text);
}
else if (ComboBox.Name.Contains("Frontal"))
{
h = System.Double.Parse(FrontalTextBoxH.Text);
b = System.Double.Parse(FrontalTextBoxB.Text);
t = System.Double.Parse(FrontalTextBoxT.Text);
L = System.Double.Parse(FrontalTextBoxL.Text);
}
// Левая
Beam.Profile.ProfileString = "U" + h + "*" + L + "*" + t;
Beam.Position.Depth = Position.DepthEnum.MIDDLE;
Beam.Position.PlaneOffset = b / 2;
Beam.Material.MaterialString = Material;

```

Продолжение приложения А

```

Beam.Class = Class;
Beam.Insert();
// Правая
Beam Beam2 = new Beam(Beam.StartPoint, Beam.EndPoint);
Beam2.Profile.ProfileString = Beam.Profile.ProfileString;
Beam2.Position.Depth = Position.DepthEnum.MIDDLE;
Beam2.Position.Rotation = Position.RotationEnum.BELOW;
Beam2.Position.PlaneOffset = -b / 2;
Beam2.Material.MaterialString = Material;
Beam2.Class = Class;
Beam2.Insert();
}

private void CreateUserBeam(Beam Beam, string Material, string Class, ComboBox ComboBox)
{
    if (ComboBox.Name.Contains("BottomDiagonal"))
    {
        Beam.Profile.ProfileString = BottomDiagonalProfileBox.Text;
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("TopDiagonal"))
    {
        Beam.Profile.ProfileString = TopDiagonalProfileBox.Text;
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("WindBrace"))
    {
        Beam.Profile.ProfileString = WindBraceProfileBox.Text;
    }
    else if (ComboBox.Name.Contains("Frontal"))
    {
        Beam.Profile.ProfileString = FrontalProfileBox.Text;
    }

    Beam.Position.Depth = Position.DepthEnum.MIDDLE;
    Beam.Material.MaterialString = Material;
    Beam.Class = Class;
    Beam.Insert();
}
// -----Combo Boxes-----
private void BottomDiagonalProfileTypeComboBox_SelectedIndexChanged(object sender,
EventArgs e)
{
    if (BottomDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "Двутавр")
    {
        BottomDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT1.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxL.Enabled = false;
        BottomDiagonalTextBoxL1.Enabled = false;
        BottomDiagonalProfileBox.Enabled = false;
    }
}

```

Продолжение приложения А

```

BottomDiagonalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\IBeam.jpg";
    }
    else if (BottomDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "4 уголка (внутри)")
    {
        BottomDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT1.Enabled = false;
        BottomDiagonalTextBoxL.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxL1.Enabled = true;
        BottomDiagonalProfileBox.Enabled = false;
        BottomDiagonalPictureBox.Image = new Bitmap(@"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\FourLBeams.png");
    }
    else if (BottomDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "4 L-Section (outward)")
    {
        BottomDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT1.Enabled = false;
        BottomDiagonalTextBoxL.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxL1.Enabled = true;
        BottomDiagonalProfileBox.Enabled = false;
        BottomDiagonalPictureBox.Image = new Bitmap(@"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\FourLBeams(Outside).png");
    }
    else if (BottomDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "2 швеллера")
    {
        BottomDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT1.Enabled = false;
        BottomDiagonalTextBoxL.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxL1.Enabled = false;
        BottomDiagonalProfileBox.Enabled = false;
        BottomDiagonalPictureBox.Image = new Bitmap(@"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\TwoChannel.png");
    }
    else if (BottomDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "2 двутавра")
    {
        BottomDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxT1.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxL.Enabled = true;
        BottomDiagonalTextBoxL1.Enabled = false;
        BottomDiagonalProfileBox.Enabled = false;
        BottomDiagonalPictureBox.Image = new Bitmap(@"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\TwoIBeam.png");    }

```

Продолжение приложения А

```

else if (BottomDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "Пользовательское")
{
    BottomDiagonalTextBoxH.Enabled = false;
    BottomDiagonalTextBoxB.Enabled = false;
    BottomDiagonalTextBoxT.Enabled = false;
    BottomDiagonalTextBoxT1.Enabled = false;
    BottomDiagonalTextBoxL.Enabled = false;
    BottomDiagonalTextBoxL1.Enabled = false;
    BottomDiagonalProfileBox.Enabled = true;
    BottomDiagonalPictureBox.Image = new Bitmap(@"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\User.png");
}
}
private void TopDiagonalProfileTypeComboBox_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (TopDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "Двутавр")
    {
        TopDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxT1.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxL.Enabled = false;
        TopDiagonalTextBoxL1.Enabled = false;
        TopDiagonalProfileBox.Enabled = false;
        TopDiagonalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\IBeam.jpg";
    }
    else if (TopDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "4 уголка (внутри)")
    {
        TopDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxT1.Enabled = false;
        TopDiagonalTextBoxL.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxL1.Enabled = true;
        TopDiagonalProfileBox.Enabled = false;
        TopDiagonalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\FourLBeams.png";
    }
    else if (TopDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "4 L-Section (outward)")
    {
        TopDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxT1.Enabled = false;
        TopDiagonalTextBoxL.Enabled = true;
        TopDiagonalTextBoxL1.Enabled = true;
        TopDiagonalProfileBox.Enabled = false;
        TopDiagonalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\FourLBeams(Outside).png";    }
}

```

Продолжение приложения А

```

else if (TopDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "2 швеллера")
{
    TopDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxT1.Enabled = false;
    TopDiagonalTextBoxL.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxL1.Enabled = false;
    TopDiagonalProfileBox.Enabled = false;
    TopDiagonalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\TwoChannel.png";
}
else if (TopDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "2 двутавра")
{
    TopDiagonalTextBoxH.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxB.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxT.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxT1.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxL.Enabled = true;
    TopDiagonalTextBoxL1.Enabled = false;
    TopDiagonalProfileBox.Enabled = false;
    TopDiagonalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\TwoIBeam.png";
}
else if (TopDiagonalProfileTypeComboBox.Text == "Пользовательское")
{
    TopDiagonalTextBoxH.Enabled = false;
    TopDiagonalTextBoxB.Enabled = false;
    TopDiagonalTextBoxT.Enabled = false;
    TopDiagonalTextBoxT1.Enabled = false;
    TopDiagonalTextBoxL.Enabled = false;
    TopDiagonalTextBoxL1.Enabled = false;
    TopDiagonalProfileBox.Enabled = true;
    TopDiagonalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\User.png";
}
}

private void WindBraceProfileTypeComboBox_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (WindBraceProfileTypeComboBox.Text == "Двутавр")
    {
        WindBraceTextBoxH.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxB.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT1.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxL.Enabled = false;
        WindBraceTextBoxL1.Enabled = false;
        WindBraceProfileBox.Enabled = false;
    }
}

```

Продолжение приложения А

```

        WindBracePictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\IBeam.jpg";
    }
    else if (WindBraceProfileTypeComboBox.Text == "4 уголка (внутри)")
    {
        WindBraceTextBoxH.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxB.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT1.Enabled = false;
        WindBraceTextBoxL.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxL1.Enabled = true;
        WindBraceProfileBox.Enabled = false;
        WindBracePictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\FourLBeams.png";
    }
    else if (WindBraceProfileTypeComboBox.Text == "4 уголка (наружу)")
    {
        WindBraceTextBoxH.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxB.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT1.Enabled = false;
        WindBraceTextBoxL.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxL1.Enabled = true;
        WindBraceProfileBox.Enabled = false;
        WindBracePictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\FourLBeams(Outside).png";
    }
    else if (WindBraceProfileTypeComboBox.Text == "2 швеллера")
    {
        WindBraceTextBoxH.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxB.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT1.Enabled = false;
        WindBraceTextBoxL.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxL1.Enabled = false;
        WindBraceProfileBox.Enabled = false;
        WindBracePictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\TwoChannel.png";
    }
    else if (WindBraceProfileTypeComboBox.Text == "2 двутавра")
    {
        WindBraceTextBoxH.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxB.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxT1.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxL.Enabled = true;
        WindBraceTextBoxL1.Enabled = false;
        WindBraceProfileBox.Enabled = false;
        WindBracePictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\TwoIBeam.png"; }

```

Продолжение приложения А

```

else if (WindBraceProfileTypeComboBox.Text == "Пользовательское")
{
    WindBraceTextBoxH.Enabled = false;
    WindBraceTextBoxB.Enabled = false;
    WindBraceTextBoxT.Enabled = false;
    WindBraceTextBoxT1.Enabled = false;
    WindBraceTextBoxL.Enabled = false;
    WindBraceTextBoxL1.Enabled = false;
    WindBraceProfileBox.Enabled = true;
    WindBracePictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\User.png";
}
}
private void FrontalProfileTypeComboBox_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (FrontalProfileTypeComboBox.Text == "Двутавр")
    {
        FrontalTextBoxH.Enabled = true;
        FrontalTextBoxB.Enabled = true;
        FrontalTextBoxT.Enabled = true;
        FrontalTextBoxT1.Enabled = true;
        FrontalTextBoxL.Enabled = false;
        FrontalTextBoxL1.Enabled = false;
        FrontalProfileBox.Enabled = false;
        FrontalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\IBeam.jpg";
    }
    else if (FrontalProfileTypeComboBox.Text == "4 уголка (внутри)")
    {
        FrontalTextBoxH.Enabled = true;
        FrontalTextBoxB.Enabled = true;
        FrontalTextBoxT.Enabled = true;
        FrontalTextBoxT1.Enabled = false;
        FrontalTextBoxL.Enabled = true;
        FrontalTextBoxL1.Enabled = true;
        FrontalProfileBox.Enabled = false;
        FrontalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\FourLBeams.png";
    }
    else if (FrontalProfileTypeComboBox.Text == "4 L-Section (outward)")
    {
        FrontalTextBoxH.Enabled = true;
        FrontalTextBoxB.Enabled = true;
        FrontalTextBoxT.Enabled = true;
        FrontalTextBoxT1.Enabled = false;
        FrontalTextBoxL.Enabled = true;
        FrontalTextBoxL1.Enabled = true;
        FrontalProfileBox.Enabled = false;
        FrontalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\FourLBeams(Outside).png";    }
}

```

Продолжение приложения А

```

else if (FrontalProfileTypeComboBox.Text == "2 швеллера")
{
    FrontalTextBoxH.Enabled = true;
    FrontalTextBoxB.Enabled = true;
    FrontalTextBoxT.Enabled = true;
    FrontalTextBoxT1.Enabled = false;
    FrontalTextBoxL.Enabled = true;
    FrontalTextBoxL1.Enabled = false;
    FrontalProfileBox.Enabled = false;
    FrontalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\TwoChannel.png";
}
else if (FrontalProfileTypeComboBox.Text == "2 двутавра")
{
    FrontalTextBoxH.Enabled = true;
    FrontalTextBoxB.Enabled = true;
    FrontalTextBoxT.Enabled = true;
    FrontalTextBoxT1.Enabled = true;
    FrontalTextBoxL.Enabled = true;
    FrontalTextBoxL1.Enabled = false;
    FrontalProfileBox.Enabled = false;
    FrontalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\TwoIBeam.png";
}
else if (FrontalProfileTypeComboBox.Text == "Пользовательское")
{
    FrontalTextBoxH.Enabled = false;
    FrontalTextBoxB.Enabled = false;
    FrontalTextBoxT.Enabled = false;
    FrontalTextBoxT1.Enabled = false;
    FrontalTextBoxL.Enabled = false;
    FrontalTextBoxL1.Enabled = false;
    FrontalProfileBox.Enabled = true;
    FrontalPictureBox.ImageLocation = @"D:\CSHARP to Tekla
Structure\BRACING\BRACING\User.png";
}
}
}
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



ОАО «Институт Гипростроймост»
129626, г. Москва, ул. Павла Корчагина, д. 2, комната 2101

В диссертационный совет Д 999.183.02

127994, г. Москва, ул Образцова, д 9, стр. 9

Справка о внедрении

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Чжо Зин Аунг на тему: «Технологии информационного моделирования эксплуатируемых мостов в Республике Мьянма» обладают актуальностью, представляют практический интерес и были использованы для разработки стратегии информационного моделирования мостовых конструкций в отделе информационного моделирования института ГИПРОСТРОЙМОСТ. Программное обеспечение, подготовленное соискателем в рамках диссертационного исследования, в настоящее время адаптируется рабочими группами инженеров для комплексного использования в составе единой системы проектирования узлов мостовых конструкций.

Начальник отдела информационного
моделирования



Н.О. Голубев

ПРИЛОЖЕНИЕ В



CERTIFICATE

It is hereby confirmed that

KYAW ZIN AUNG

17—28 August 2017

Passed the course of the
Transport Engineering Summer School
(Design and Construction of
Transport Infrastructure Facilities)
72 hours/ 5 credits

Russian Transport University (MIIT)
(Russian Federation)

Vice-Rector of MIIT
for International Relations



A handwritten signature in blue ink is written over the seal, belonging to V. Glazkov.

V. Glazkov

Russian Federation
Moscow, August 28th 2017

Продолжение приложения В

СЕРТИФИКАТ
МИИТ
РОССИЙСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА
(МИИТ)

выдан

Чисо

Зим Ауне

за участие
во Всероссийской конференции
с международным участием

**«СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛЕВОЙ НАУКИ»**

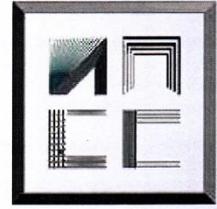
Директор ИПСС



Т.В.Шепитько

г. Москва
23-24 ноября 2017 г.





CERTIFICATE

It is hereby confirmed that

Kyaw Zin Aung

17—27 August 2018

Passed the course of the
Transport Engineering Summer School
(Design and Construction of
Transport Infrastructure Facilities)
72 hours/ 5 credits

Russian University of Transport (MIIT)
(Russian Federation)

Vice-Rector of MIIT



V. Glazkov

Russian Federation
Moscow, August 27th 2018



СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

настоящий сертификат свидетельствует о том, что

Васо Зин Аунг

принимал(а) участие в международной научно-практической конференции
**«МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА, ТРАНСПОРТНАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ,
 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**
IT&MQ&IS – 2018

Директор Европейского центра по качеству

В.Н. Азаров



Санкт-Петербург
24-28 сентября 2018 г.

