

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)».

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент  
**Смирнова Ольга Владимировна**

**Официальные оппоненты:** **Сафронов Владимир Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

**Купчикова Наталья Викторовна**, кандидат технических наук, доцент, государственное автономное образовательное учреждение Астраханской области высшего образования «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Защита состоится 12 марта 2019 г. в 10.30 часов на заседании диссертационного совета Д 999.183.02, на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9 (Минаевский переулок, д. 2, ГУК-7, ауд. 7618).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), [www.miit.ru](http://www.miit.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_ » февраля 2019 года.

Ученый секретарь диссертационного  
совета, кандидат технических наук,

 Зайцев Андрей Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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.

**Цель и задачи диссертационного исследования.** Целью настоящего исследования 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.

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

**Методология и методы исследования.** В работе использованы методы информационного моделирования конструкций, теории вероятностей, математической статистики, теории надёжности, метод конечных элементов.

Достоверность и обоснованность применяемых методов подтверждается их широким использованием в различных сферах деятельности.

**Научная новизна** 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.

**Наиболее существенные новые научные результаты, полученные непосредственно соискателем и вынесенные 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 надёжности мостовых элементов на основе интеграции результатов мониторинга в информационную модель с помощью плагинов.

**Достоверность результатов** исследования подтверждается корректностью поставленных задач, достоверностью применённых математических методов исследования, использованием современной технологии, а также тем, что технология информационного моделирования эффективно применяется в строительстве и в машиностроении при создании объектов повышенной сложности.

**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 надёжности 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.

**Внедрение и апробация работы.** Научные и практические результаты работы обсуждались и получили положительную оценку на следующих научно-практических конференциях:



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

Диссертация обсуждена и одобрена на объединённом заседании кафедр «Мосты и тоннели» и «Системы автоматизированного проектирования» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Результаты работы используются в практической деятельности в ОАО «Институт Гипростроймост».

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 112 страницах текста, состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 63 наименований и 3 приложений, содержит 54 рисунка и 2 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, приведены данные о структуре и объёме диссертационной работы.

**В первой главе** описано современное состояние применения информационного моделирования в проектировании и эксплуатации мостов. Это новый подход к проектированию – переход от автоматизации создания двумерных чертежей конструкции к созданию трёхмерной 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 расчётов, 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, в свою очередь, способствует более эффективному использованию финансовых средств. Технология информационного моделирования позволяет составить оптимальный график строительства и расположения строительной техники на площадке. 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 определённым образом взаимосвязана, согласованна и скоординирована; имеет геометрическую привязку; годится для расчётов и количественного анализа; допускает необходимые обновления.

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 с таким объёмом информации и выполнить качественный анализ в отведённые сроки.

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. Каждый программный продукт имеет свои особенности, но в целом обеспечивает простое управление объектом на протяжении всего жизненного цикла, а также реализует формирование отчётов по геометрии моста, а также отчётов о секциях моста, монтаже верхних сооружений и балочных опор, об объёме работ и сметы. Программные комплексы позволяют провести расчет и анализ конструкции.

Большой опыт применения технологии информационного моделирования накоплен в Финляндии, Китае и ряде других стран. Известны результаты ряда исследований, проведённых, в том числе, в университете Оулу (Финляндия), 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.

**Во второй главе** предложен процесс реализации технологии информационного моделирования при проектировании мостовых конструкций. В программном комплексе Tekla Structures (Trimble) была создана информационная модель реконструируемого моста через реку Ситтаунг в Республике Мьянма в регионе Моппалин. В качестве исходных данных использовались двумерные чертежи опор и проезжей части моста, общий вид моста и фотографии главных ферм. На основе этих данных были созданы семейства опор, балок проезжей части и главных ферм (рисунок 1).

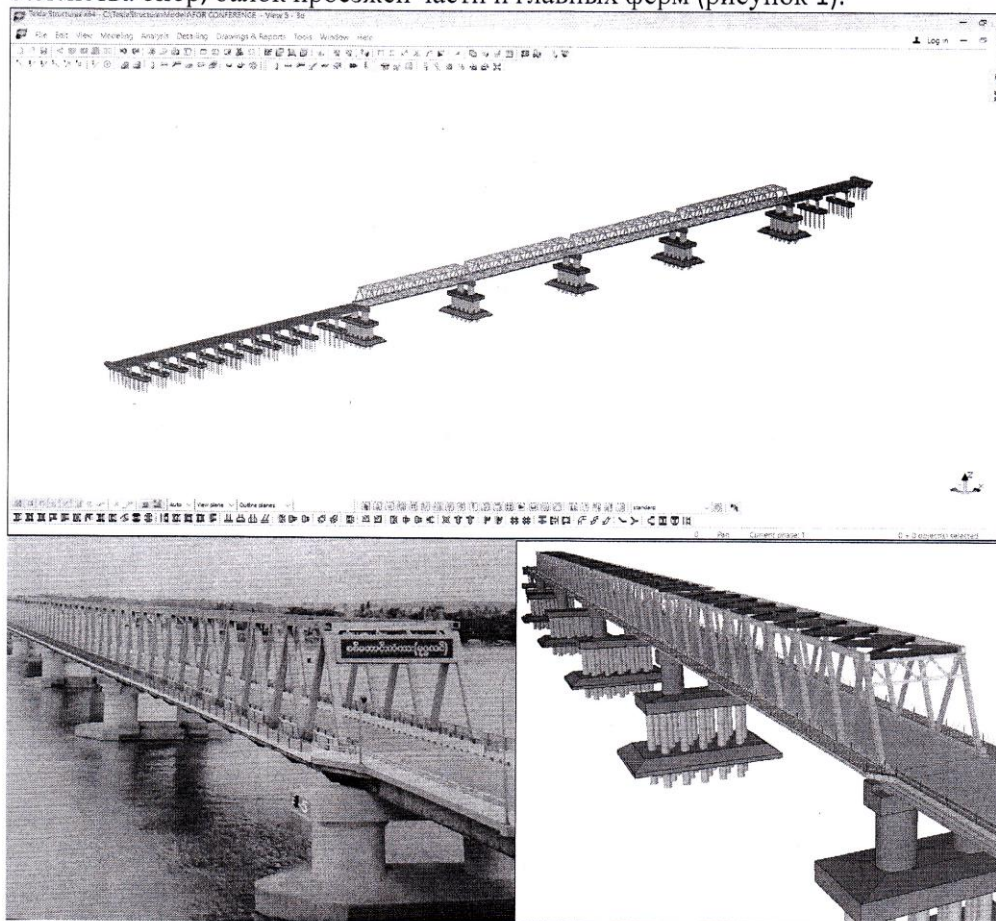


Рисунок 1 – Мост Ситтаунг (Республика Мьянма)

С помощью технологии информационного моделирования можно достаточно 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 (Building Information Modeling) есть возможность таких дополнений. Очень удобным функционалом для автоматизации обладает комплекс Tekla. В этом комплексе есть возможность расширить функционал с помощью открытого программного интерфейса Tekla Open API, в котором используется язык C# (C Sharp).

В процессе формирования информационной модели мостового сооружения для адаптации процесса моделирования сквозных главных ферм металлических мостов была написана специальная программа – плагин, настраивающий комплекс для моделирования нетиповых сечений. В дополнение списка профилей были созданы новые виды сечений и заданы необходимые геометрические характеристики (рисунок 2).

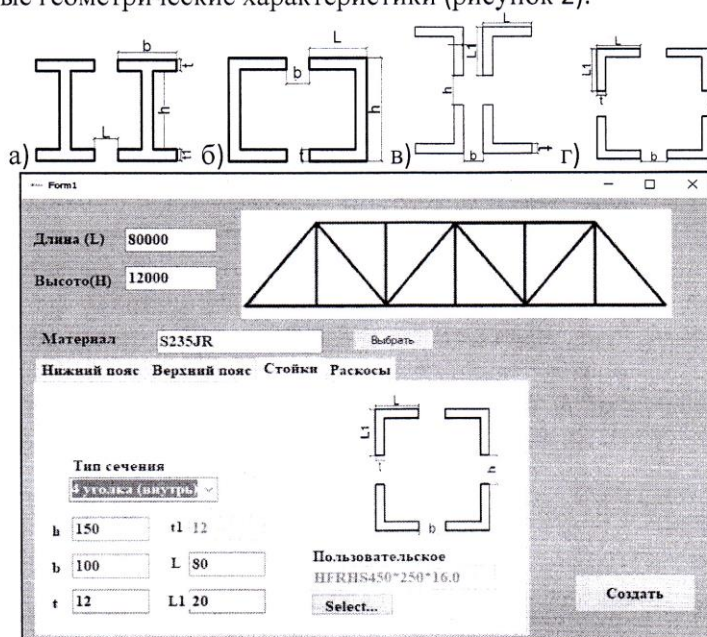


Рисунок 2 – Выбор пользовательского сечения балки из списка

При формировании узловых прикреплений проектируемых мостов необходимо учесть ряд требований к шагу болтов при составлении схемы.

Требования к расстановке болтов в узлах главных ферм:

1. Число продольных рядов болтов должно быть нечётным;
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.

Используя стандартный функционал программного комплекса, через вкладку «Болты» можно задать группу и выполнить необходимую процедуру отрисовки нужной схемы за 2 прохода. Для сокращения времени на выполнение данной операции с помощью интерфейса Tekla Open API был реализован алгоритм, который позволяет выполнить расстановку болтов за один проход с учётом всех требований.

В соответствующих полях формы проектировщик задаёт ширину, высоту и начальную точку той области, в которой расставляются болты, также задаётся шаг и количество болтов (рисунок 3).

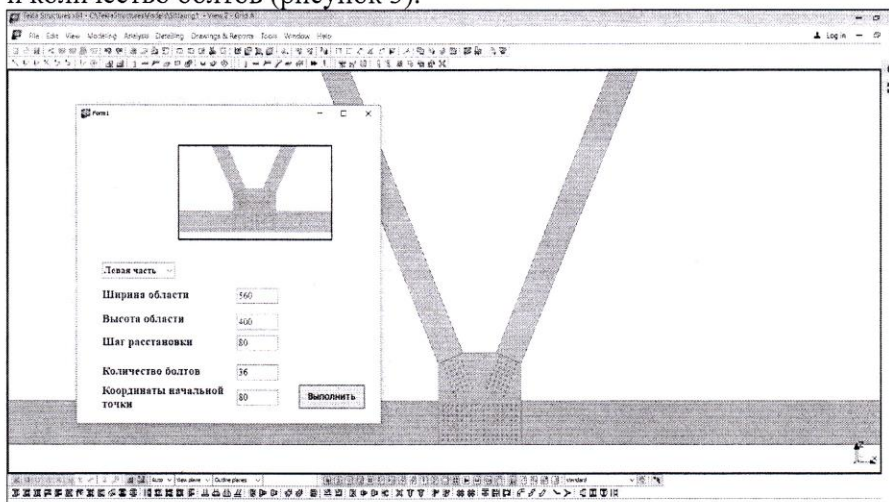


Рисунок 3 – Результат работы плагина для расстановки болтов

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

**В третьей главе** проведено исследование возможностей использования технологии информационного моделирования для прочностного анализа мостовых конструкций. Выполнено сравнение проведения прочностного анализа мостовых конструкций с помощью встроенных приложений и с помощью сторонних приложений, выполняющих прочностной расчёт.

Наиболее важным результатом использования встроенных приложений является то, что можно передавать уже созданную модель в виде расчётной схемы. В простых конструкциях корректировки не требуется, а в более сложных приходится дополнять расчётную схему, но не рисовать её полностью. При расчёте конструкций в Tekla Structures в случае, когда модель полностью детализирована, или в физической модели больше деталей, чем требуется рассчитать, ненужные детали можно просто исключить из расчёта.



Использование встроенного приложения позволяет выполнить не только расчёт, но и обработку результатов расчёта. Например, можно изменить профили деталей, а после внесения изменений выполнить расчёт ещё раз. Однако следует учитывать, что при расчёте во встроенных приложениях обычно используются американские или европейские нормы.

Далее рассматривалось выполнение прочностного анализа мостовых конструкций с помощью сторонних приложений. Для выполнения прочностных расчётов в программах, не встроенных в комплексы информационного моделирования, существует возможность взаимодействия с этими комплексами.

Взаимодействие 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, определённых в одной системе, в других системах, имеющих другой формат. Например, трёхмерную несущую конструкцию из приложения моделирования можно передать в систему расчёта и проектирования и работать с ней в этой системе.

Можно экспортировать модели Tekla Structures для использования в программах расчёта и проектирования. Затем результаты проектирования и расчёта можно импортировать назад в модель Tekla Structures. 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. Также предусмотрена поддержка более старых форматов.

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 (Finite Element Method, метод конечных элементов) в Tekla Structures поддерживает несколько форматов и содержит ряд параметров для импорта и экспорта моделей.

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 расчёт на собственный вес в программе SCAD (рисунок 4).

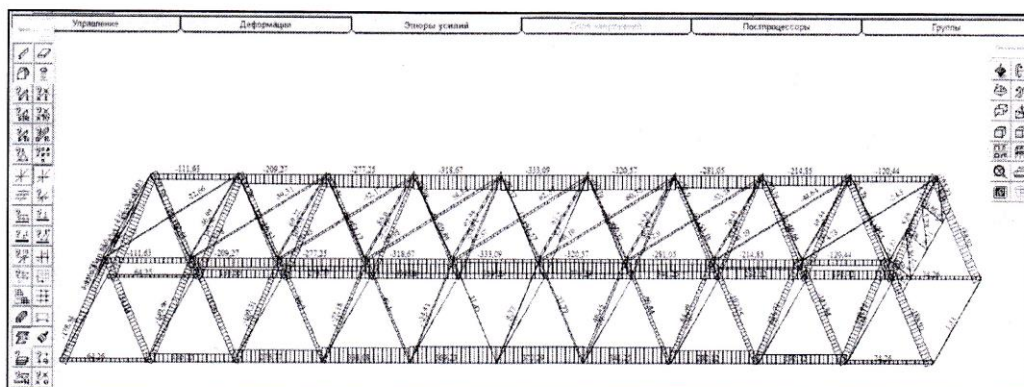


Рисунок 4 – Результаты расчёта фермы моста в SCAD

Таблица 1 – Результаты расчёта двутаврового сечений

Минимум усилий и напряжений								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
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

Таблица 2 – Результаты расчёта прямоугольного сечений

Минимум усилий и напряжений								
Фактор	Максимальные значения				Минимальные значения			
	Значение	Элемент	Сечение	Загружение	Значение	Элемент	Сечение	Загружение
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

Также был выполнен расчёт на подвижные нагрузки в прочностном комплексе КАТРАН (рисунок 5), разработанном на кафедре «Системы автоматизированного проектирования» РУТ (МИИТ).



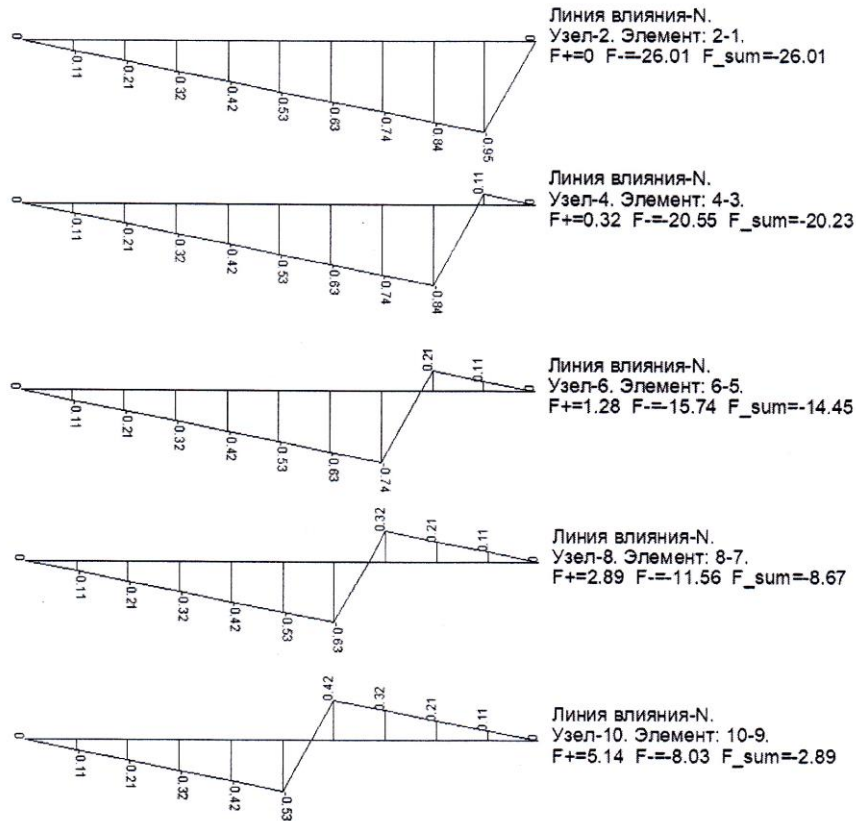
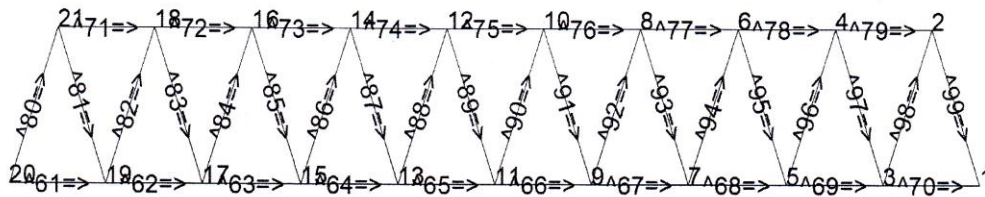


Рисунок 5 – Расчёт на подвижные нагрузки в КАТРАН:  
линии влияния продольных сил в раскосах

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

**В четвертой главе** рассмотрено применение технологии информационного моделирования на стадии эксплуатации мостового сооружения и интеграция результатов мониторинга в информационные модели

мостов с помощью технологии разработки проблемно-ориентированных плагинов.

Оценка надёжности элементов мостов в процессе эксплуатации представляет собой непростую и трудоёмкую задачу. Для её решения необходимо установить закономерности изменения различных характеристик элементов, накопить необходимые статистические данные. В МИИТе разработана методика оценки усталостной долговечности и надёжности элементов металлических пролётных строений эксплуатируемых железнодорожных мостов, согласно которой усталостное разрушение наступает, если сумма накопленных повреждений достигает некоторой границы. При использовании данной модели условие безотказной работы элемента моста можно представить в виде

$$v \leq v_{OH}, \quad (1)$$

где  $v$  – расчётное значение меры повреждения,

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

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

Долговечность элементов мостов определяется из условия равенства расчётной меры повреждения  $v_{НАК}$ , определённой от суммарного воздействия нагрузки с начала эксплуатации, и  $v_{OH}$ , соответствующей заданной надёжности. При этом долговечность ресурса может быть выражена в количестве поездов или автомобилей определённых типов или во времени. В соответствии с данной методикой, разработанной проф. В.О. Осиповым, остаточный ресурс, выраженный в количестве автомобилей, равен

$$N = \frac{v_{OH} - v_{НАК}}{v'}, \quad (2)$$

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 пролётных строений от количества автомобилей с учётом современной нагрузки. Результаты, полученные по данной методике, для моста Ситтаунг представлены в таблице 3.



Таблица 3 – Мера накопления усталостных повреждений и остаточный усталостный ресурс элементов главных ферм пролётных строений

Элемент	Мера повреждения за период эксплуатации	Остаточный усталостный ресурс, тыс. условных машин	Мера повреждения от одной условной машины, $\nu' \cdot 10^{-5}$
H0-1	0,0008	271800	0,11001
H1-2	0,0556	3103	7,4122
H2-3	0,0373	5037	4,9732
H3-4	0,0543	3302	7,2411
H4-5	0,0489	3561	6,5234
P1'-1	0,0256	12250	3,4116
P2'-2	0,0293	8200	3,9056
P3'-3	0,0248	8026	3,3061
P4'-4	0,0108	7920	3,3703
P5'-5	0,0177	6780	2,3608

Оценка накопления повреждений ведётся путём мониторинга количества проезжающих по мосту автомобилей.

Чтобы обеспечить заданную надёжность металлических пролётных строений мостов необходимо уменьшать период между ремонтами повреждённых элементов или проводить их усиление. Для определения периода между ремонтами повреждённых элементов использовалась модель, в которой время  $\tau$ , по истечении которого элемент должен быть заменён, определяется по формуле:

$$a\tau \int_0^{\tau} e^{-\frac{at^2}{2}} dt + e^{-\frac{a\tau^2}{2}} - 1 = C, \quad (3)$$

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

Для определения оптимального интервала ремонта  $T_0$  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:

$$N_0 = N_{\text{прош}} + N_{\text{ост}} \quad (4)$$

где  $N_{\text{прош}}$  – выработанный усталостный ресурс, т.е. количество прошедших условных машин;

$N_{\text{ост}}$  – остаточный усталостный ресурс, т.е. количество условных машин, оставшееся до выработки полного ресурса.

Значение величины  $N_{\text{ост}}$  зависит от расчётного пролёта фермы, от типа элемента и от типа условных машин.

В частности для раскосов  $P5' - 5$  пролётных строений рассматриваемой фермы  $N_{\text{ост}} = 6780$  тыс. условных машин.

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

При эффективной сети передачи данных с датчиков, установленных на мостовой конструкции, можно быстро передавать информацию сразу в информационную модель, обновляя её. Использование технологии информационного моделирования позволяет расширять базу свойств элементов модели путём адаптации программного обеспечения с помощью плагинов – прикладного программного обеспечения, функционирующего в среде информационного моделирования.

Для обработки результатов мониторинга в информационной модели был написан проблемно-ориентированный плагин (рисунок 6), реализующий модель оценки надёжности эксплуатируемого моста на основе двух уровней предельных состояний  $v_{\text{он}}$  и  $v_{\text{р}}$ .

Рисунок 6 – Диалоговое окно программы оценки надёжности элементов

Программа отслеживает накопление повреждений, чтобы не допустить этих предельных состояний, и с помощью цветовой шкалы показывает степень накопленных повреждений отдельных элементов (рисунок 7).



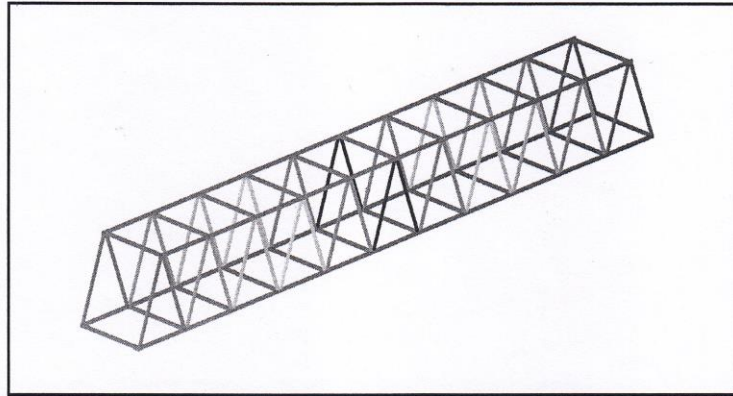


Рисунок 7 – Результат работы: цветное отображение степени накопленных повреждений в элементах моста

Информация поступает в программу с датчиков, установленных на элементах моста или с датчиков перед въездом на мост, которые ведут счёт проезжающих автомобилей (рисунок 8). Результатом работы плагина является трёхмерное изображение металлической фермы с цветным изображением степени накопленных повреждений.

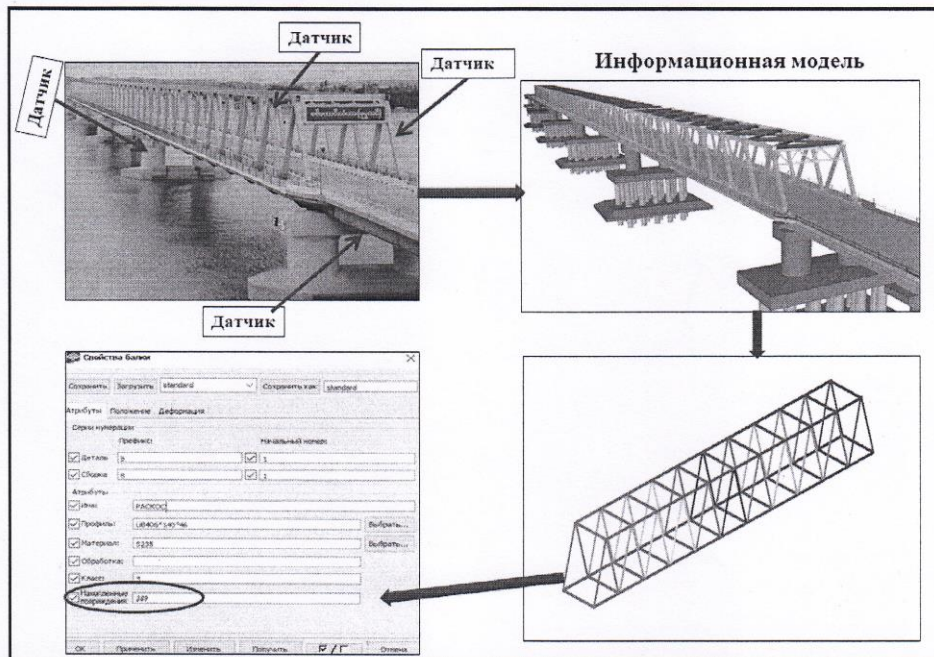


Рисунок 8 – Схема интеграции результатов мониторинга в информационную модель

Таким образом, интеграция результатов мониторинга в информационную модель моста на этапе эксплуатации помогает своевременно отслеживать

степень накопленных повреждений для отдельных элементов, что позволит повысить надёжность 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. Проведённое исследование показало, что в настоящее время наиболее эффективным средством достижения высоких скоростей строительства и повышения надёжности мостовых сооружений в процессе эксплуатации является использование технологии информационного моделирования в мостостроении. Рассмотренная технология может использоваться на всех этапах жизненного цикла мостов.
2. Разработаны отдельные семейства опор и балочных пролётных 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. Создана программа (плагин) для автоматической генерации расчётных схем пространственных ферм, выполняющая подготовку расчётной схемы фермы для системы прочностного анализа.
7. Создана программа (плагин), выполняющая интеграцию результатов мониторинга в информационную модель для отслеживания степени накопления усталостных повреждений выбранных элементов мостового сооружения, что позволяет повысить надёжность мостового сооружения на этапе эксплуатации за счёт улучшения оценки надёжности 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 её 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 счёт выполнения необходимых расчётов на любом этапе функционирования объекта с учётом результатов мониторинга.
10. Представленные результаты исследований адаптированы и используются в проектных организациях, в частности в ОАО «Институт Гипростроймост», и в организациях, занимающихся обслуживанием мостов.
11. Перспективой дальнейшей разработки темы диссертационного исследования является расширение использования технологии информационного моделирования для повышения надёжности эксплуатируемых мостов на основе интеграции в цифровую модель мостового сооружения новых технологий мониторинга средствами неразрушающего контроля.

### **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях:**

1. Чжо Зин Аунг. Анализ особенностей программ информационного моделирования при проектировании мостов / Чжо Зин Аунг // Мир транспорта. – 2017. – № 6. – С. 148-154.
2. Смирнова, О.В. Возможности адаптации программы Tekla при проектировании элементов металлических мостов / О.В. Смирнова, Чжо Зин Аунг // Транспортное строительство. – 2017. – № 10. – С. 20-22.
3. 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.
4. 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.

**Статьи в изданиях, входящих в международные базы цитирования:**

5. Smirnova, O.V. The Adaptation of Information Modeling Software for the Metal Truss Bridges Design and Utilize Bridges / O.V. Smirnova, Kyaw Zin Aung // IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS). – 2018. – P. 491-494.

**Статьи в других изданиях и материалах конференций:**

6. Чжо Зин Аунг. Перспективы использование программных решений Tekla при проектировании и реконструкции мостов / Чжо Зин Аунг // Научно-практическая конференция (Неделя наук-2016) МИИТ– С- 53.

7. Чжо Зин Аунг. Анализ особенностей и возможности использования программы REVIT при проектировании мостов / Смирнова О.В, Чжо Зин Аунг // Журнал «Инженерные сооружения на транспорте» (Сборник трудов – выпуск 7) 2016 – С. 104 -108.

8. Чжо Зин Аунг. Особенности создания информационной модели мостовых сооружений в программном комплексе Tekla / Чжо Зин Аунг // Всероссийской межвузовской конференции с международным участием –2016 – С. 480 – 483.

9. 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. – P. 51 - 55.

10. Kyaw Zin Aung. The adaptation of software for information modeling to design of trusses of metal bridges / Smirnova O.V, Kyaw Zin Aung // Journal of Transportation Science and Technology. – Vol 27+28, May 2018. – P. 198 - 201.

**Чжо Зин Аунг**

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

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать

Заказ №

Формат 60 x 90/16

Усл. -печ.л. – 1,5

Тираж 80 экз.

127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, УПЦ,ГИ МИИТ