

RM Bridge Professional – расчет, проектирование и строительство мостов

Приложение RM Bridge Professional V8i – это комплексное программное обеспечение, предназначенное для 2D-, 3D- и 4D-проектирования мостов различных типов с применением различных материалов и технологий строительства. Система обеспечивает полностью интегрированный процесс моделирования, анализа и проектирования и быструю обработку результатов расчетов. С помощью приложения RM Bridge Professional осуществляется разработка документации на основе данных, полученных непосредственно из анализируемых моделей, что улучшает технологичность объекта и обеспечивает его своевременное выполнение.

Универсальная система проектирования мостов

RM Bridge Professional – основное программное обеспечение семейства RM Bridge, которое предлагает интегрированные модули для проектирования мостов. Программные средства RM Bridge содержат набор усовершенствованных модулей для интенсивного анализа мостов составного типа, например вантовых мостов с большими пролетами и висячих мостов (длиннопролетных канатных висячих мостов и обычных висячих мостов). Дополнительные модули предназначены для выполнения специализированных действий, в частности для анализа динамического воздействия подвижного состава, контроля за ходом монтажных работ и анализа испытаний в аэродинамической трубе на модели, а также разнообраз-

ных методов проектирования, например проектирования уравновешенных навесных конструкций, пошаговой навигации моста и монолитных конструкций.

Разработка полного проекта моста

RM Bridge Professional представляет собой итерационную систему, предоставляющую инженерам-проектировщикам широкие возможности для разработки полного проекта моста при экономии времени и сокращении сроков сдачи проекта. Возможности полного статического и динамического анализа обеспечивают виртуальное решение любой конструкторской проблемы. Способность системы моделировать существенные воздействия с временной зависимостью и анализировать стадии проектирования дает очевидные конкурентные преимущества. Квалифицированное описание оцифрованных геометрических фигур и управление ими помогают при управлении проектированием, моделировании монтажных работ и сейсмическом анализе, а автоматизированные процессы, в частности прямая выдача проектных данных для выполнения литья и изготовления конструкций экономят время и сокращают длительность циклов проектирования. Участники проекта имеют открытый доступ к проектной документации (как в браузере) для осмотра, выделения последних изменений, печати и вывода на плоттер.

Определение инфраструктуры проекта

В отличие от конкурирующего программного обеспечения для проектирования мостов, приложение



RM Bridge Professional хорошо работает в контексте инфраструктуры проекта. Программное обеспечение осуществляет обмен данными в форматах DGN системы MicroStation, LandXML и в других форматах. Эта возможность позволяет инженеру-проектировщику точно определять местоположение моста по геометрическим координатам автомобильной или железной дороги, полученным из программного обеспечения Bentley InRoads, Bentley GEOPAK, Bentley MXROAD или Bentley Rail Track либо из AutoCAD, AutoCAD Civil 3D и других приложений. С помощью приложения RM Bridge Professional инженер-проектировщик моста получает в свое распоряжение обширную информацию о проектах гражданского строительства: трассы дорог в плане, вертикальные профили, фотограмметрические данные, цифровые модели рельефа, изолинии (горизонтальности плана), растровую графику и конструкции железнодорожных путей. Все данные о дизайне и проекте моста используются в процессе информационного моделирования мостов (BIM), представляющего собой новый инновационный подход к проектированию мостов и реализации проектов их строительства.

Проектирование мостов различного типа

Приложение RM Bridge Professional предназначено для проектирования мостов всех типов: от железобетонных и изготовленных из предварительно напряженного железобетона до стальных и композитных (составных) мостов, арочных, висячих и вантовых мостов и т. п. С его помощью выполняется совместный анализ с временной зависимостью ползучести и усадки, а также релаксации стали. Пользователи имеют возможность анализировать способность к деформации пролета моста и рассматривать взаимодействие между пролетом и основанием моста, а также между конструкцией и грунтом.

Программное обеспечение также решает весь спектр общих проблем, связанных с композитными структурами, и вычисляет воздействие различных сил и возраста бетона на конструктивные элементы моста с учетом различия между значениями пластической деформации и усадки различных компонентов. Кроме

того, программное обеспечение поддерживает технологии строительства мостов как из сборных, так и монолитных конструкций.

Интегрированное моделирование и анализ

Модуль разработки модели моста работает синхронно с тщательно продуманной программой расчета, чтобы упростить управление геометрическими данными для разработки рабочего проекта и чертежей. Используя модуль разработки модели моста, инженеры-проектировщики определяют полную систему строительных конструкций, включая условия опирания, нижнее строение и поперечные элементы моста. Программные средства обеспечивают согласование между геометрическими данными поперечного сечения и расчетной моделью конструкций. Программа разрабатывает полностью определенную модель конструкции с комплексным определением отдельных поперечных сечений, готовую для расчета строительных конструкций.

Приложение RM Bridge Professional обладает расширенными возможностями выполнения динамического анализа, с помощью которого удается легко и с высокой точностью решать традиционно сложные инженерные задачи. Полный набор матриц масс и демпфирования и возможность проведения анализа в реальном времени в сочетании с быстроем действием вычислений резко выделяют RM Bridge Professional среди аналогичных по назначению программ. Виды доступного анализа охватывают весь спектр потребностей по анализу мостов: открытый анализ, анализ спектра реакций, линейный анализ с временным интегрированием, нелинейный анализ с временным интегрированием, геометрические характеристики арматурного пучка и распределение усилий предварительного напряжения, создание предварительного напряжения под воздействием вариантов нагрузки, пластическая деформация и усадка под воздействием вариантов нагрузки и релаксация стали.

Уникальным свойством RM Bridge Professional является наличие возможности гибридного анализа методом конечных элементов для детального моделирования отдельных элементов балки, стены, плиты, оболочки.



Такой метод обеспечивает получение более точных результатов по сравнению с традиционным методом.

Эффекты с временной зависимостью

Неотъемлемой частью модели моста является возможность выполнять на ней полный четырехмерный анализ, что позволяет инженерам-проектировщикам рассматривать поведение конструкции в пространстве и времени. Для исследования фаз строительства конструкции вплоть до его завершения аналитические возможности RM Bridge Professional позволяют получать результаты линейного или нелинейного анализа, статических или динамических расчетов, проверок соблюдения стандартов проектирования, а также формировать спецификации и графики основных операций и многое другое.

Программное обеспечение рассматривает все характеристики материалов (например, ползучесть, усадку и релаксацию) с временной зависимостью. Все результирующие перераспределения внутренних сил полностью учитываются.

Технологии строительства

На полностью определенной трехмерной модели моста пользователи могут оценить все аспекты поэтапного возведения его конструкции. Возможность четырехмерного анализа облегчает разработку графика строительства, который определяет последовательность и содержание произвольных стадий строительства. Пользователи могут определять стадии до необходимого уровня сложности.

В приложении RM Bridge Professional прописаны требования национального стандарта, что позволяет выполнять проектирование согласно его нормам.

Сейсмический анализ

Приложение RM Bridge Professional предлагает анализ спектра реакции при определении воздействий потенциальной сейсмической угрозы. Пользователи определяют спектр реакции по таблице, включающей ряд значений величин, заданных как смещение, скорость или ускорение. Отдельные результаты объединяют с использованием различных стохастических правил суперпозиции (ABS, SRSS, DSC и CQC).

Инженеры-проектировщики могут рассчитывать величины сдвига по фазе между двумя фундаментами в условиях землетрясения. В процессе выполнения сейсмического анализа также могут рассматриваться специальные эффекты затухания и другие условия.

Нагрузка и комбинированные нагрузки

Для точного расчета вариантов нагрузки в RM Bridge Professional применяется теория второго приближения с P-Delta-эффектами. Выполняется и линейный, и нелинейный анализ, что при объединении результатов обеспечивает очевидное преимущество при проектировании стальных и композитных конструкций, новых или имеющихся.

В процессе проведения анализа модуль расчета прикладывает все нагрузки к активной конструктивной подсистеме в наиболее релевантной точке на временной оси. Программа автоматически рассчитывает диф-

ференциальные варианты нагрузки во время выполнения анализа на стадии строительства, учитывая корректные нелинейные эффекты. Результаты суммирования воздействия вариантов нагрузки используются для вычисления нелинейной матрицы жесткости, которая применяется для анализа и проектирования.

Проверка стабильности

После расчета вариантов нагрузки программа автоматически запускает проверки стабильности, увеличивая нагрузку до возникновения бифуркации. Инженеры-проектировщики многократно прикладывают нагрузки, пока не будет достигнута стабильность. Допустимая нагрузка конструкции вычисляется с использованием нелинейного анализа при различных значениях приращения нагрузки и выводится из эпюр предельных нагрузок, рассчитанных приложением RM Bridge Professional.

Проверка проекта и соблюдения стандартов проектирования

RM Bridge Professional обеспечивает всестороннюю проверку соблюдения стандартов проектирования и поддерживает полный набор международных стандартов. Пользователи могут включать проверки соблюдения стандартов проектирования в любой момент выполнения отдельной фазы строительства либо на заключительной стадии. Система предусматривает графическое отображение результатов всех проверок стандартов и автоматически обозначает точки, в которых проектные величины превышают порог устойчивости.

Пример использования RM Bridge Professional: проектирование моста Сутун

Вантовый мост Сутун является основным мостом через реку Янцзы, соединяющим города Сучжоу и Наньтун в провинции Цзянсу в Китае. Его строительство стоило приблизительно 920 миллионов долларов США. Мост является важным проектом, цель которого состоит в том, чтобы сократить разрыв в экономическом развитии между городами Сучжоу и Наньтун и способствовать равномерному развитию региона. Мост Сутун был введен в эксплуатацию летом 2007 года, став самым длинным вантовым мостом в мире. Общая длина вантовой части составляет 2088 м. Центральный пролет имеет длину 1088 м, а высота пилона составляет около 300 м. В 2010 году создатели моста получили награду за достижения в науке от Общества гражданских инженеров Америки.

Общая длина мостовой части составляет 8,2 км. Сооружение состоит из основного моста через фарватер (мост Сутун), специального моста и обоих подходных пролетов. Основной мост через фарватер — это вантовый мост, специальный мост является предварительно напряженным, бетонным, неразрезным, рамным жестким мостом с расположением пролетов на расстоянии 140+268+140 м. Подходные пролеты — предварительно напряженные, бетонные, неразрезные, балочные мосты длиной 75, 50 и 30 м в длине пролета.

Компания-проектант HPDI (Highway Planning and Design Institute Consultants, Китай) в качестве основного программного обеспечения для реализации данного проекта выбрала приложение RM Bridge Professional, которое использовалось при строительстве моста Стоункатерз в Гонконге – первого вантового моста, который превзошел достигнутый на то время предел в 1000 м для основного вантового пролета (изображен на предыдущем развороте). Несмотря на сложность проекта и высокие требования заказчика, команда проектировщиков сумела завершить проектное задание в строгом соответствии с планом.



Различные факторы окружающей среды и текущие потребности сформировали чрезвычайно сложные задачи по проектированию, анализу и строительству данного сооружения:

- ▶ **Требования судоходства.** Под мостом регулярно проходят крупные контейнеровозы и огромные караваны судов. Требовалось обеспечить длину пролета для морского пути больше 891 м и высоту – не менее 62 м. Более того, основной мост должен был быть способным выдерживать удар корабля весом 50 000 тонн.
- ▶ **Неблагоприятный климат.** Каждый год в регионе фиксируется в среднем 30 дней густого тумана, более 120 дней проливных дождей и ветра значительной скорости, вызываемые тайфунами и торнадо. Учитывая погодные условия, командам строителей необходимо было соблюдать интенсивный график, чтобы завершить работы в сезонные промежутки.

- ▶ **Сложная гидрология.** Поскольку река является приливно-отливной, она характеризуется переменчивостью скорости потока, его направления и глубины. Волны иногда достигают 3 м в высоту, а течения могут быть очень мощными. Высота воды во время приливов и отливов может достигать разницы в 4 метра. Конструкция позволяет в среднем выдерживать напор воды, проходящий через сечение реки, в 4,1 м в сек.

- ▶ **Глубокий почвенный горизонт.** Почвенный горизонт находится на глубине 270 м и покрыт илом, песком и грунтом. Это означает, что для оснований необходимо было специальное решение, не предусматривающее бурения почвенного горизонта. Сложные задачи, стоящие перед проектировщиками, требовали глубокого анализа больших смещений, вызванных различными потенциальными условиями. Особенно важным было изучение динамических



свойств, обусловленных ветром, сейсмическими событиями и столкновением кораблей с пилонами. Для полной последовательности выполнения строительных работ был проведен анализ с особым упором на оптимизацию натяжения канатов, что является ключевым фактором на каждой стадии строительства вантового моста. Анализ включал в себя указанные ниже аспекты:

▶ **Оптимизация натяжения канатов.** Для вантовых мостов натяжение канатов должно быть точно настроенным, чтобы достичь идеального распределения внутренних сил в готовой конструкции. Как правило, в таких про-



ектах идеальное конечное состояние заранее задается с помощью основных условий, в частности определением минимального изгибающего момента в плите проезжей части и пилонах под постоянными нагрузками. Эти критерии управляют стратегией регулировки натяжения канатов. AddCon, специальный модуль в приложении RM Bridge Professional, автоматически рассчитал оптимальное распределение натяжения и необходимую последовательность напряжения канатов.

▶ **Анализ на стадии строительства.** Упреждающий анализ с помощью модуля AddCon использовался на всех стадиях возведения для достижения оптимальной конечной нагрузки, требуемой проектировщиком. Модель анализа включала в себя ряд условий для различных стадий строительства. Участники команды также исследовали эквивалентное статическое действие ветра разных направлений на фазах строительства, которые считались наиболее проблематичными.

▶ **Большие смещения.** Участники команды уделяли особое внимание геометрическим нелинейностям на протяжении всего процесса строительства. Инженеры провели специальное исследование нелинейных эффектов, результаты которого позволили получить значимые характеристики влияния геометрических нелинейностей.

▶ На стадии строительства **большие отклонения от конструктивной формы** должны быть приняты как значения предварительного строительного подъема для получения требуемой постоянной нагрузки на конструктивную форму в конце последовательности выполнения строительных работ без допуска запрещенных внутренних сил связи.

▶ **Воздействие ветра.** Участники команды провели несколько исследований с целью оценки воздействия сильного ветра:

- было разработано соответствующее сечение пролетных строений моста, которое удовлетворяет текущим потребностям и требованиям к не-

сущей способности, а также к ветровой нагрузке. Аэродинамические испытания, проведенные в университете Тонджи, привели к созданию обтекаемой, закрытой стальной балки коробчатого сечения с обтекателями от ветра;

- была изучена вибрация канатов, вызванная ветром и дождем или периодическим возбуждением, а также исследованы разные методы минимизации вибраций вантов;
- был проведен полный анализ динамической нагрузки ветра на конструкцию моста с транспортом на нем и без него. Этот анализ основывался на аэродинамических коэффициентах и прочих данных, полученных в результате испытаний в аэродинамической трубе. Анализ включал в себя нелинейные демпферы, требуемые для стабилизации канатов, и соединения балок/пилонов.

▶ **Динамические свойства** – большие смещения, часто вследствие изменений температуры, которые могут возникать в подобного рода конструкциях как при строительстве, так и при эксплуатации. Для данного проекта с целью противодействия динамическим нагрузкам были применены нелинейные демпферы. Обязательным моментом было определение соответствующих конструктивных параметров демпферов, включая промежуток, упругую жесткость и динамические характеристики. Приложение RM Bridge Professional использовалось для проведения требуемых параметрических исследований с целью проектирования макетов этих устройств.

Несомненно, мост Сутун является замечательным образцом современного дизайна и инженерной мысли. Проектирование и строительство самого моста способствовали сотрудничеству и взаимодействию между многими известными проектировщиками мостов из Китая и других стран.

По материалам компании Bentley Systems



atomexpo 2012

Международный форум АТОМЭКСПО 2012

ATOMEXPO 2012 International Forum

4-6 июня 2012 • Гостиный двор • Москва • Россия
4-6 June 2012 • Gostiny Dvor • Moscow • Russia



РОСАТОМ

АТОМЭКСПО

ООО «Атомэкспо»

Тел.: +7 495 663 38 21 • Факс: +7 495 663 38 20

atomexpo@atomexpo.com

www.atomexpo.com