

Программное обеспечение вариант­ного проектирования пролётных строений автодорожных деревянных мостов

В статье рассмотрены вопросы создания программного алгоритма автоматизированного проектирования пролётных строений автодорожных деревянных мостов. Разработана адаптивная схема вычисления упругого распределения нагрузки на основе полученной теоремы о загрузениях, обеспечивающая выбор оптимальных геометрических характеристик элементов пролётного строения. Выполнено сравнение измеренных отклонений прогибов реальных пролётных строений с результатами вычисления двумя методами.

DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.8

Гостев А.Е., начальник отдела мостов
ООО «Индор-Мост» (г. Томск)

Современные системы и средства автоматизированного проектирования мостов базируются главным образом на методе конечных элементов (МКЭ). Этот метод лежит в основе хорошо известного программного обеспечения: Cosmos (SolidWorks Corporation, США), Scad (SCAD Soft, Москва), Lira (НИИ автоматизированных систем в строительстве, Украина) и др. Несомненным достоинством этих программ является хорошо проработанный пользовательский интерфейс, позволяющий в диалоговом режиме создавать расчётные схемы сложных конструкций с использованием больших библиотек конечных элементов, воздействовать на созданные конструкции статическими и динамическими нагрузками, проводить расчёты с использованием известных теоретических моделей, а также оформлять результаты расчётов на высоком графическом уровне.

Однако использование подобного ПО в варианном проектировании и в учебной работе по подготовке специалистов соответствующих специальностей затруднено следующими основными обстоятельствами: во-первых, появляется необходимость в дополнительном обучении для освоения пользовательского интерфейса ПО, что усложняет процесс усвоения профилирующих дисциплин студентами; во-вторых, создание расчётной схемы для МКЭ, включающей несколько тысяч узлов и элементов для получения хорошей точности расчётов, требует больших затрат времени, которые не оправдывают себя как в учебном процессе, так и при рутинном варианном проектировании деревянных пролётных строений.

В связи с этим была поставлена задача создания ПО, позволяющего в короткие сроки освоить вариантное проектирование пролётных строений

автодорожных деревянных мостов как студентам соответствующих специальностей, так и специалистам-проектировщикам, нуждающимся в высвобождении рабочего времени для творческой деятельности. С этой целью для разработки алгоритма такого ПО был выбран один из хорошо зарекомендовавших себя и многократно проверенных на практике классических методов расчёта — метод с использованием коэффициентов упругой передачи.

Дополнительная и не менее важная задача настоящей работы состоит в том, что доказательством достоверности расчётов с использованием разработанного ПО послужит проведение обоснованного сравнительного анализа результатов расчёта с использованием различного хорошо известного ПО, а также прямых натурных измерений, например прогибов пролётных строений при действии известных статических нагрузок. Основное требование к разрабатываемому ПО — наглядный многофункциональный интерфейс, позволяющий эффективно использовать программу не только в качестве инструментария инженера-проектировщика при вариантном проектировании и оперативной оценке грузоподъёмности пролётных строений, но и для учебных целей.

В результате выполненной работы [1, 2] создано ПО Wooden Bridges (WB) для расчёта и проектирования деревянных мостов, несущими элементами которых являются различного вида прогоны (сближенные, двухъярусные, сложные пакетные). ПО WB позволяет рассчитывать вариант пролётного строения с заданными исходными параметрами на выбранную нормативную нагрузку, а также подбирать оптимальные сечения элементов конструкции, их требуемое количество, включая подбор расстояний между

элементами, а также вид и характеристики материала.

Выбор варианта расчёта позволяет проектировщику определить рамки своего участия в процессе вариантного проектирования. Так, например, выбирая опцию «Расчёт оптимального варианта пролётного строения», можно при минимальном количестве исходных данных о предполагаемом проектируемом сооружении получить вариант моста, для которого общие затраты древесины на строительство будут минимальными. В этом случае программа рассчитывает всевозможные варианты элементов пролёта моста для заданной нагрузки, выводит эти сведения в дополнительный протокол и определяет итоговую конструкцию, на строительство которой будет затрачен минимум объёма древесины. Вторая ветка программы — «Расчёт рабочего варианта пролётного строения» — позволяет ввести наиболее полные сведения об элементах проектируемой или уже существующей конструкции пролётного строения и рассчитать их на заданную нагрузку. В этом случае программа ведёт расчёты с выдачей на монитор сообщений о перегрузках элементов моста на различных стадиях расчёта. Получая такие сообщения, проектировщик имеет возможность в режиме диалога усиливать конструкцию отдельных элементов и продолжать расчёты либо по завершении работы программы в итоговом протоколе ознакомиться с процентом перегрузки каждого из элементов конструкции.

В начале работы с программой в главном меню, показанном на рисунке 1, оператором вводятся исходные данные для расчёта (габарит моста, длина пролёта, система рассчитываемого моста и др.), а также выбирается один из двух вариантов расчёта пролётного строения.

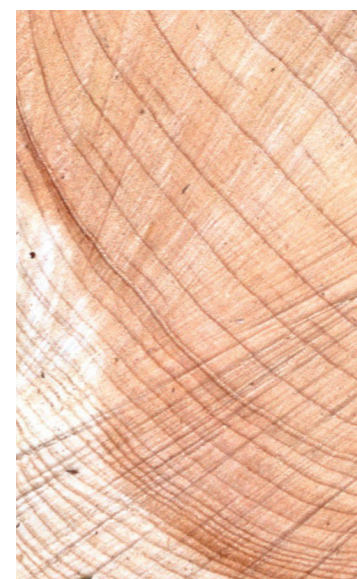
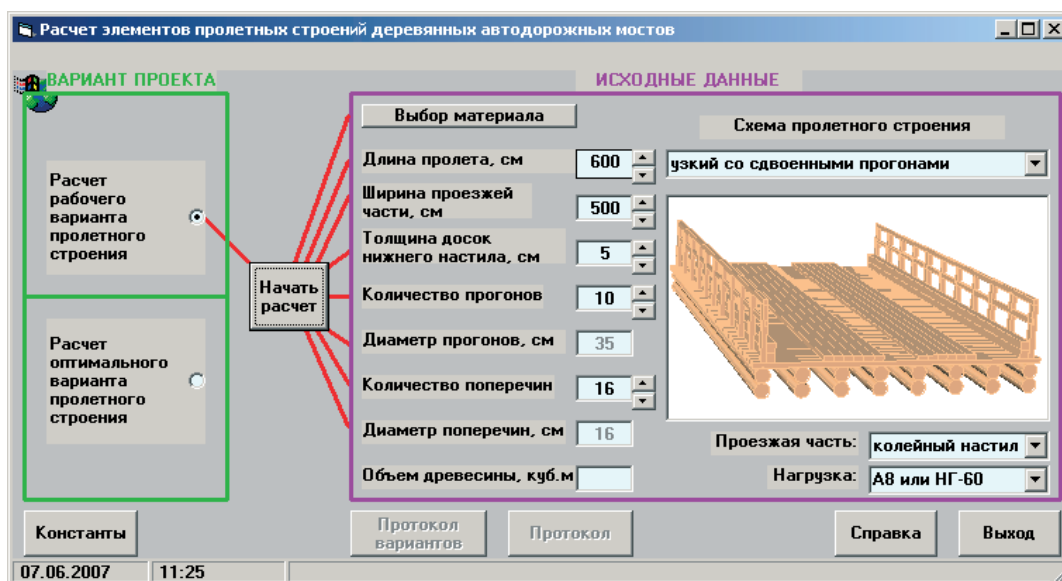


Рис. 1. Главное меню программы Wooden Bridges



Рис. 2. Дополнительное меню «Выбор параметров материала древесины» программы *Wooden Bridges*

При выборе оптимального варианта расчёта программа запрашивает только значение ширины и длины пролёта, тип проезжей части и вид нормативной нагрузки (А-8, НГ-60), а в отдельном меню «Выбор параметров материала древесины» (рис. 2) необходимо указать характеристики материала брёвен или пластин поперечин, прогонов и досок.

Для расчёта рабочего варианта дополнительно указываются размеры и вид сечения брёвен или пластин поперечин и прогонов, количество прогонов и поперечин, а также толщина досок проезжей части.

Имеется возможность до начала расчётов корректировать в отдельном меню «Константы» некоторые постоянные величины, используемые в алгоритме работы программы, например, характеристики нагрузки, если она не нормативна и специфична, физические параметры древесины, если они уникальны, и др.

После нажатия на кнопку «Начать расчёт» ПО WB приступает к выполнению задания в последовательности. Рассчитывается настил проезжей части на выбранную нагрузку. Предусмотрен расчёт двойного дощатого настила и колеяного настила, второй из которых наиболее часто применяется при строительстве деревянных мостов на дорогах 4 и 5 категории.

Далее рассчитываются поперечины, а затем прогоны, имеющие сечение в виде брёвен или пластин, в зависимости от того, какой был выбран вариант в меню «Выбор параметров

материала древесины». Поперечины и прогоны рассчитываются с учётом коэффициента упругого распределения и распределением давления на 3, 5 или 7 элементов.

Авторами был предложен и апробирован универсальный алгоритм, позволяющий на основе общих соотношений (в зависимости от габарита моста и расстояний между прогонами и поперечинами) проводить расчёты давлений от сосредоточенных и полосовых нагрузок. При этом алгоритм программы предусматривает адаптивный подбор схемы загрузки и расчёт для неё опорных давлений на каждый элемент конструкции. Для этих целей используется полученная авторами [3] теорема о загрузках, позволяющая автоматизировать указанный процесс. Кроме того, в работе [3] показано, что имеющиеся в традиционной схеме расчётов [4, 5] неточности, например, в расчёте давлений от нормативной нагрузки на элементы, могут привести к существенным ошибкам для достаточно часто встречающихся конструкций пролётных строений. Связано это с так называемыми неполными или усечёнными схемами загрузки. Указанный недостаток учтён в алгоритме ПО WB, что позволяет для определённого класса конструкций пролётных строений увеличить точность расчёта опорных давлений на прогоны более чем в два раза.

После окончания расчёта ПО WB оформляет протокол выполнения задания.

Для сравнительного анализа расчёта пролётных строений с использованием ПО WB и программный комплекс Лиры 9.0, в основе алгоритма которого лежит МКЭ, было выбрано 2 деревянных моста, расположенных в Республике Алтай, на которых были проведены все необходимые измерения геометрических характеристик элементов пролётных строений. Первый мост через р. Песчаная на автомобильной дороге Арбайта — Ябоган. Второй мост через р. Куба на автомобильной дороге Чемал — Уолан. Сравнение выполнено по одному параметру — максимальному прогибу пролётного строения, измеренному прогибомерами Максимова при статической нагрузке А-8.

Расчётные схемы реальных пролётных строений в ПК Лиры были выполнены в виде комбинации стержней и пластин соответствующего сечения.

Исходные данные обследованных пролётных строений были введены в ПО WB в режиме «Расчёт рабочего варианта пролётного строения».

Сопоставление результатов расчёта, полученных по МКЭ (ПК Лиры) и классическим методом с использованием коэффициентов упругой передачи (ПО WB), показывает на хорошее соответствие (отличия не более единиц процентов), а сопоставление расчётных значений максимальных прогибов с измеренными на реальных мостах показывает на их отличие в пределах экспериментальной и приборной погрешности. ■

Литература:

1. Бочкарёв Н.Н., Гостев А.Е. Автоматизированный расчёт элементов пролётных строений автодорожных деревянных мостов // Вестник ТГАСУ. 2004. №1. С. 195–204.
2. Bochkariov N.N., Gostev A.E. Designing of variants of wooden span of road bridges // Proceedings International Conference VSU'2004. Bulgaria. Sofia. 2004. V.1. P. 27–32.
3. Бочкарёв Н.Н., Гостев А.Е. Расчёт давлений на элементы пролётного строения автодорожного деревянного моста при усечённых схемах загрузки // Вестник ТГАСУ. 2005. №1. С. 205–213.
4. Российский В.А., Брусенцов П.А., Лукин Н.П. Расчёт деревянных автодорожных мостов. Киев: Вища школа, 1973. 211 с.
5. Катцын П.А., Сибер В.В. Проектирование и расчёт деревянных автодорожных мостов. Томск: Изд. Томского университета, 1989. 166 с.