

Затем, для этих групп устанавливают гидравлические показатели, в частности коэффициенты  $s_*$  (аналогичное мнение высказано К. В. Гришаниным [2, с. 87]). Так, для р. Оби этот коэффициент в среднем составляет 0,2 (г. Барнаул), для Енисея по створам ниже г. Кызыла — 0,37, Ангары — 0,3...0,4, Баргузина по одноименному створу — 0,05...0,25, Амура — 0,13 на плесах у г. Хабаровска.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Альтшуль А. Д. и др. Сравнение формул без коэффициента шероховатости для определения средней скорости течения воды в реках // Гидротехнич. строительство.— 1973.— № 1.— С. 41—42. [2]. Гришанин К. В. Гидравлическое сопротивление естественных русел.— СПб.: Гидрометеиздат, 1992.— 192 с. [3]. Железняков Г. В. Гидравлика и гидрология.— М.: Транспорт, 1989.— 204 с. [4]. Карасев И. Ф. и др. Гидрометрия.— Л.: Гидрометеиздат, 1985.— 384 с. [5]. Павловский Н. Н. Гидравлический справочник.— Л., М.: ОНТИ НКТП СССР, 1937.— 890 с. [6]. Сасоров М. П. О влиянии формы сечения на линейную зависимость между средней скоростью и средней глубиной // Гидротехнич. строительство.— 1965.— № 7.— С. 18—23. [7]. Сергутин В. Е. О постулате Шези для открытых потоков // Лесн. журн.— 1992.— № 2.— С. 54—63.— (Изв. высш. учеб. заведений). [8]. Сергутин В. Е. Гидравлическое сопротивление естественных русел // Энергетика.— 1992.— № 2.— С. 110—118.— (Изв. высш. учеб. заведений). [9]. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П. Г. Киселева.— М.: Энергия, 1974.— 314 с. [10]. Чоу В. Н. Гидравлика открытых каналов / Пер. с англ.— М.: Стройиздат, 1969.— 464 с.

Поступила 27 июля 1992 г.

УДК 624.21 : 691.116

## К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В. П. СТУКОВ

Архангельский лесотехнический институт

В процессе проектирования мостового сооружения вопрос о выборе конструкционных материалов занимает особое место, поскольку его рациональное решение определяет не только стоимость, но и сроки службы.

Практика отечественного и зарубежного строительства показывает, что в условиях труднопрогнозируемого роста транспортных потоков, интенсивной индустриализации, изменения климата существенно меняется представление о долговечности мостов. Расширение площадей промышленных зон на десятки и сотни квадратных километров привело к повышению концентрации солей и кислотным дождям. При проектировании мостового сооружения тщательно взвешиваются все стороны «вечного» железобетона, «идеального» металла и естественного полимера — древесины.

Ученые США [1], полагают, что независимо от того, из какого материала построен мост, через 50 лет потребуются модификация его конструкции.

Всесторонняя оценка реальных сроков эксплуатации железобетонных и стальных мостов определила срок их службы в 30...35 лет, деревянных — в среднем 50 лет [6]. В США, Канаде и европейских странах в деревянных мостах, как правило, используется клееная древесина. Длительный срок службы деревянного моста объясняется хорошей сохранностью антисептированной древесины и отсутствием расщепления клеевых швов. На конференции, состоявшейся в июле 1989 г. в штате Вермонт (США), был рассмотрен вопрос о возможности замены старых железобетонных и стальных мостов деревянными [5].

Ученые, инженеры и проектировщики при исследовании и проектировании мостовых конструкций уделяют все большее внимание древесине как материалу, обеспечивающему длительные сроки нормальной эксплуатации моста.

При работе материала в мостовом сооружении очень важно создать условия для реализации его долговечности. В процессе эксплуатации моста напряжения от внешней нагрузки суммируются с внутренними температурно-влажностными напряжениями, периодический характер которых при увлажнении — высыхании создает наиболее жесткие условия работы клееных конструкций. Необходимая долговечность клееной древесины балок может обеспечиваться созданием нормальных условий эксплуатации. Последняя учитывается при разработке конструкции плиты и полотна проезжей части; исключая попадание воды с проезжей части на клееные балки и по срокам службы не уступающей им.

Нами обследовано 19 мостов в десяти районах Архангельской области — всего 324 балки. Из них лишь пять мостов имели деревоплиту, остальные — сплошной поперечный настил из бруса или бревен. Покрытие проезжей части двух мостов выполнено цементобетонным, пяти — асфальтобетонным, на остальных — продольный деревянный настил.

Клееная древесина, плита из досок «на ребро» и брус сплошного сечения имеют различные сроки службы. При сплошном поперечном и продольном деревянных настилах вода беспрепятственно проникает через конструкцию проезжей части и обильно смачивает главные балки из клееной древесины. Установившееся мнение, что асфальтированная деревоплита из досок, соединенных гвоздями, надежно предохраняет балки пролетного строения от смачивания и загрязнения [4], не соответствует действительности. Обследования показали, что многочисленные трещины в покрытии проезжей части вызывают проникновение воды в деревоплиту и ее загнивание. Подобные случаи имели место в трех из четырех мостов такой конструкции.

Эксплуатация мостов с проезжей частью столь несовершенной конструкции вызывает стремительный рост повреждений балок. Если при первом обследовании в 1986 г. (после 4 лет эксплуатации) из 18 балок пролетного строения моста через р. Лявлю только две имели несквозные расслоения, то уже в 1989 г. были рекомендованы к замене шесть балок, имеющих сквозные расслоения клеевых швов, в ряде случаев проходящие по всей длине балки. В автодорожном мосту через р. Яренгу в 1985 г. выявлены незначительные расслоения клеевых швов в 3 из 88 балок, а в 1991 г. из 14 наиболее дефектных балок пять предложено заменить, остальные могут быть приведены в рабочее состояние в соответствии с рекомендациями. Подобные дефекты клееной древесины характерны и для других обследованных мостов.

Ухудшение состояния клееной древесины связано также с низким качеством клея отечественного производства, отсутствием жесткого контроля за технологическими процессами изготовления балок, нарушением правил транспортировки и хранения.

Наблюдаемые дефекты клееной древесины в мостах не соответствуют ее конструкционному назначению. У инженеров и проектировщиков создается неправильное мнение о ней, что является серьезным препятствием в реализации современных технических решений.

Создать нормальные условия работы клееной древесины и устроить дисбаланс в подборе элементов проезжей части и пролетного строения в целом можно при использовании железобетонной плиты, работающей совместно с деревянными балками. В балках комбинированного сечения плита может быть выполнена из монолитного или сборного железобетона. Практика зарубежного мостостроения показала высокие

эксплуатационные качества мостов с такими балками. По данным университета штата Вирджиния (США), «за последние 50 лет деревянная часть многих из 500 тысяч мостов США заменена железобетонной плитой» [7].

Использование железобетонной плиты способствует повышению капитальности пролетных строений с клееными балками, защите древесины от переувлажнения, хорошему распределению давлений от временной нагрузки. При совместной работе плиты с деревянными балками на изгиб значительно увеличиваются несущая способность и жесткость пролетных строений, в полтора раза снижается высота балок и вдвое уменьшаются касательные напряжения [2].

Объемы строительства из клееной древесины в нашей стране, особенно в мостостроении, весьма незначительны. Число мостов с балками из клееной древесины не превышает двух сотен, а случаи, когда эти балки объединены с железобетонной плитой, единичны.

Расчетные сроки службы мостов с балками из клееной древесины должны быть заложены при их проектировании. Если по какой-то причине это не удалось сделать при строительстве новых мостов, то можно внести необходимые коррективы при их реконструкции.

Примером подобного подхода явилась реконструкция моста с пролетами длиной 18 м через р. Лявлю на автодороге Архангельск — Косково в 1990—1991 гг. Были заменены 10 балок со значительными расщелениями клеевых швов. Плита проезжей части выполнена из монолитного железобетона и объединена с балками при помощи металлических нагелей диаметром 30 мм, глубина заделки в деревянной части 150 мм. Нагели установлены парами с шагом 35 см на приопорных участках и по одному с тем же шагом в средней части пролета балки. Предварительно в верхнем поясе с расчетным шагом были высверлены отверстия диаметром, равным номинальному диаметру стержня нагеля. Стенки отверстий и стержни нагелей были обмазаны эпоксидным клеем, и связывающие элементы установлены в отверстия. Перед бетонированием плиты место контакта древесины балки с бетоном плиты обработано битумной мастикой.

Существенно увеличилась жесткость поперечной конструкции пролетного строения. Расчетная стала крайняя, а не вторая от края балка. Коэффициент составности балки комбинированного сечения для принятой конструкции связей равен 0,64. С заменой деревоплиты на железобетонную постоянная нагрузка на балку несколько увеличилась, однако нормальные напряжения в нижних растянутых волокнах остались прежними (11,38 против 11,25 МПа, что меньше  $0,8 R_{db} = 13,6$  МПа, где  $R_{db}$  — расчетное сопротивление древесины при изгибе). Уменьшились прогиб в середине пролета балки и касательные напряжения в сечении над опорами.

По завершении реконструкции моста были проведены статические испытания пролетных строений нагрузкой, на 7,1% превышающей нормативную А8. Нормальные напряжения в крайних растянутых волокнах балки не превышали 0,7 МПа при их теоретическом значении от испытательной нагрузки 2,8 МПа. В середине пролета расчетной балки прогиб составил 0,57 см при теоретическом значении 1,00 см, что меньше предельно допустимого прогиба, равного 4,35 см. При этом не учтено обжатие резинометаллических опорных частей, что вызвало некоторое завывание прогиба.

Уменьшение экспериментальных напряжений и прогибов по сравнению с теоретическими объясняется включением в работу сточного треугольника и покрытия проезжей части. Конструктивная поправка, представляющая отношение экспериментального и теоретического прогибов, меньше единицы. Испытания показали значительную жесткость

балок пролетных строений, отсутствие расстройств в связях ребра с плитой, хорошую распределительную способность поперечной конструкции пролетного строения. Контрольные наблюдения в 1991—1993 гг. за состоянием балок комбинированного сечения, в частности клееной древесины, показали, что их состояние полностью удовлетворяет условиям нормальной эксплуатации.

Применение балок комбинированного сечения позволяет существенно улучшить конструктивные и эксплуатационные характеристики пролетного строения, оптимально использовать клееную древесину, ее прочность, деформативные свойства и долговечность.

Несмотря на широкое применение клееной древесины в мостостроении, США и Канада продолжают наращивать темпы ее использования. Этот вопрос решается на правительственном уровне. В США требуют замены до 40 % мостов [8]. При этом предпочтение предполагается отдать конструкциям из древесины. На строительство 80 демонстрационных мостов в 30 штатах будет затрачено 2 млрд долларов.

На автомобильных дорогах нашей страны «значительная часть мостов... была построена в 50—60-е годы. В настоящее время более 50 % мостов не удовлетворяют современным нормативам по грузоподъемности и габаритам, требуют усиления и уширения» [3]. Вполне очевидно, что часть этих мостов потребует замены, и здесь древесина, в частности клееная, должна сыграть решающую роль как современный конструкционный материал.

Проведенная работа позволяет сделать вывод, что клееная древесина не получила должного применения в отечественном мостостроении, а существующие конструкции пролетных строений не обеспечивают оптимальных условий ее нормальной эксплуатации. Недостаточно используются балки комбинированного сечения и другие решения, позволяющие существенно улучшить конструктивные и эксплуатационные характеристики пролетного строения. Клееная древесина получила широкое распространение в современном зарубежном мостостроении. Имеется опыт ее использования в мостах в различных регионах нашей страны. В ближайшее время предстоит выполнить значительные объемы работ по строительству и реконструкции мостов, в которых может быть использована клееная древесина.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Иванова Е. К. Современные деревянные мосты на автомобильных дорогах США.— М.: Автотрансиздат, 1961.— 241 с. [2]. Кулиш В. И. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой.— М.: Транспорт, 1979.— 160 с. [3]. Мосты и сооружения на дорогах: Учеб. для вузов: В 2 ч. / П. М. Саламахин, О. В. Воля, Н. П. Лукин и др.; Под ред. П. М. Саламахина.— М.: Транспорт, 1991.— Ч. 1.— 344 с. [4]. Содержание и ремонт мостов и труб на автомобильных дорогах / К. Н. Гайдук, С. А. Мусатов, С. Э. Озе, Н. Д. Поспелов.— М.: Транспорт, 1976.— 296 с. [5]. Bier H. Structural form in timber // Trans. Inst. Prof. Eng. N 2. Civ. Eng. Sec.—1984—11, N 2.— P. 33—44. [6]. Gibbs D. The timber bridge: an old and new concept // Forest prod.— 1983.— 33, N 11—12.— P. 6—7. [7]. Timber bridge decks // Civ. Eng. (USA)— 1985, 55, N 5.— P. 47—49. [8]. Timber bridge touted in Vt. // Woodshop News.— 1989.— 3, N 10.— P. 132—133.

Поступила 13 июля 1993 г.