

УДК 624.21:691.16

**В.П. Стуков**

Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства верфи филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный дорожник РФ. Имеет более 80 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.  
E-mail: stukovvp@mail.ru



## **ОПТИМИЗАЦИЯ БАЛКИ ДЕРЕВОЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ АВТОДОРОЖНОГО МОСТА**

Рассмотрена задача оптимизации высоты ребра деревожелезобетонной балки в зависимости от коэффициента ее составности в соответствии с нормами на проектирование мостов.

*Ключевые слова:* деревожелезобетонная балка, высота ребра, оптимизация.

Исследования зарубежных и отечественных ученых [3, 6, 7] убедительно показали, что древесина, особенно клееная, при надлежащей конструкционной и химической защите способна длительное время (до 50 лет и более) работать в мостовом сооружении и отвечать всем предъявляемым к ней требованиям. Как естественный полимер в силу специфики структуры она устойчива в слабых агрессивных щелочных и кислотных средах.

В мостах с деревожелезобетонными пролетными строениями ребро из клееной древесины объединено с железобетонной плитой для их совместной работы. Подобное сочетание материалов позволяет повысить капитальность моста, защитить клееную древесину от прямого воздействия агрессивной среды, получить экономию древесины до 20...25 % в зависимости от пролета балок, степени связи плиты и ребра, других параметров.

Целью нашего исследования является оптимизация деревожелезобетонной балки, что напрямую связано с экономией клееной древесины при соблюдении требований проектирования по предельным состояниям и нормальной эксплуатации.

Деревожелезобетонная балка является составной, совместную работу ее ветвей обеспечивают связи сдвига и поперечные. А.Р. Ржаницын [3] основное внимание уделяет рациональному размещению связей по длине балки, что является важным элементом в проектировании и обеспечении оптимальной несущей способности. В.И. Кулиш [1] делает выводы, что за

счет объединения деревоклееного ребра и железобетонной плиты можно значительно увеличить несущую способность и жесткость пролетного строения из таких балок, уменьшить высоту ребра из клееной древесины в 1,5 раза, а скалывающие напряжения в 2 раза.

Нами исследованы мосты с деревожелезобетонными пролетными строениями, длина пролетов  $l = 9 \dots 33$  м [5]. В балке ребро из клееной древесины и железобетонная плита для совместной работы соединены стальными нагелями. Одним концом они вклеены в отверстия, рассверленные в древесине ребер, а другим замоноличены в бетоне плиты. Такое соединение обладает составностью, т. е. при работе под нагрузкой между ветвями композитной балки имеют место сдвиги. Степень составности зависит от ряда характеристик соединения, которое во всех случаях должно обеспечивать упругую работу конструкции без остаточных деформаций под нагрузкой. Согласно работам [1, 3] степень составности подобной балки можно характеризовать коэффициентом  $\psi$ , который представляет соотношение сдвигающих усилий ветвей составной и монолитной балок.

В работе [2] коэффициент составности  $\psi$  рассматривается как соотношение прогибов монолитной и составной балок, что тоже в полной мере отвечает специфике их работы.

На рис.1 представлена составная деревожелезобетонная балка с ребром из клееной древесины и железобетонной плитой, объединенных стальными нагелями с шагом  $c$  по длине балки [4, 5].

Задача оптимизации деревожелезобетонной балки многокритериальна. Балка должна удовлетворять условиям прочности, устойчивости, трещиностойкости (для плиты), деформаций, изготовления, транспортировки, монтажа и т. д. При определении размеров ветвей следует учитывать ее работу в составе пролетного строения моста, поскольку, например, толщина плиты и армирование зависят от шага балок.

Оптимизация балки выполнена из условий удовлетворения несущей способности и деформаций. В данной статье рассмотрены пролеты  $l = 9$  и 18 м при шаге балок  $d = 1,8$  м. Пролет  $l = 9$  м представляет нижнюю границу рассматриваемых. Здесь при расчетных нормируемых нагрузках имеют место наибольшие поперечные силы на опорах, и при определении опти-

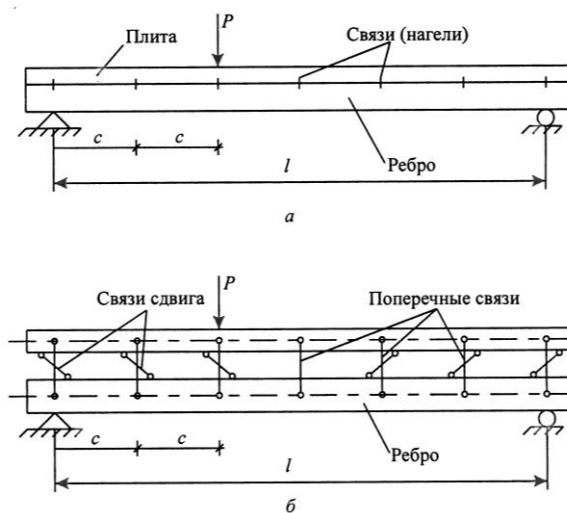


Рис. 1. Деревожелезобетонная балка – составная стержень: а – нагельное соединение ветвей; б – схема связей

мальных размеров деревоклееного ребра решающей может быть его прочность по поперечной силе. Пролет балки  $l = 18$  м является наибольшим в практике отечественного мостостроения для деревянных мостов из клееной древесины с деревоплитой, построенных по действующим типовым проектам 810-Р и 810-К. Подобный пролет имеют деревожелезобетонные пролетные строения моста через р. Лявлю [4, 5]. Рассматриваемый шаг балок  $d = 1,8$  м близок к используемому в типовом проектировании  $d = 1,2 \dots 1,6$  м и в большей мере отвечает конструкции железобетонной плиты без армирования отогнутой арматурой поперек пролетного строения. Толщина плиты  $0,15$  м принята как традиционная для железобетонных пролетных строений.

На рис. 2, а представлены графики изменения оптимальной высоты ребра  $h_{оп}$  деревожелезобетонной балки в зависимости от коэффициента ее составности  $\psi$  для пролета  $l = 9$  м. Несущая способность балки по изгибающему моменту  $M_{оп}$  определялась исходя из достижения нормальных растягивающих напряжений в крайнем нижнем волокне балки, равных расчетному сопротивлению изгибу клееной древесины. Несущая способность по поперечной силе  $Q_{оп}$  определена исходя из достижения скалывающими

напряжениями в опорном сечении деревоклееного ребра наибольших расчетных значений вдоль волокон по клеявым швам при изгибе. Соответствующие графики  $M_{оп}$  и  $Q_{оп}$  дают информацию об изменении оптимальной высоты ребра балки  $h_{оп}$  в зависимости от коэффициента ее составности  $\psi$ . Оптимальная высота ребра балки  $h_{оп}$  из удовлетворения требований по прогибам  $f_{lim} = 1/400 l$  представлена графиком  $f_{lim}$ . Чтобы запроектировать деревожелезобетонную балку с оптимальной высотой ребра  $h_{оп}$  с учетом всех рассматриваемых требований, следует принять коэффициент составности балки  $\psi = 0,92$ , получаемый по

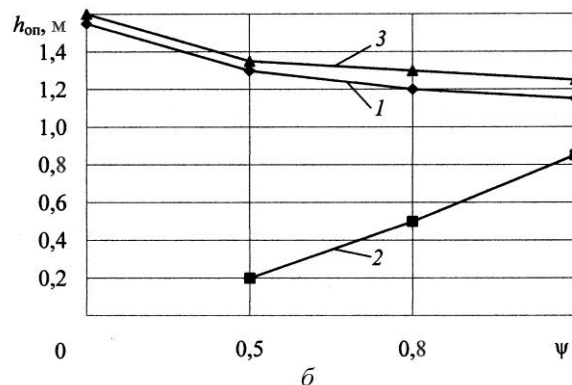
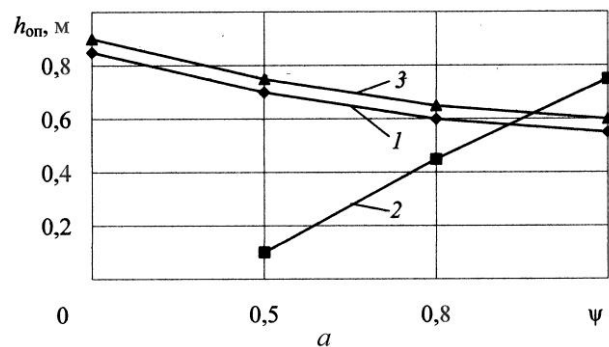


Рис. 2. Графики зависимости оптимальной высоты ребра  $h_{оп}$  от коэффициента составности  $\psi$  деревожелезобетонной балки пролетом 9 м (а) и 18 м (б): 1 –  $M_{оп}$ ; 2 –  $Q_{оп}$ ; 3 –  $f_{lim}$

оси абсцисс как проекцию точки пересечения графиков  $Q_{оп}$  и  $f_{lim}$ . Оптимальная высота ребра  $h_{оп}$  равна 0,63 м. При меньшей высоте ребра не удовлетворяется условие прочности по поперечной силе. Принятие большей высоты ребра связано с конструктивным решением связей, толщиной плиты и другими факторами.

Графики изменения оптимальной высоты ребра балки  $h_{оп}$  для пролета  $l = 18$  м представлены на рис. 2, б. Учтены те же требования к несущей способности по изгибающему моменту, поперечной силе, прогибам, что и для пролета  $l = 9$  м. Как видно из графиков, при установлении оптимальной высоты ребра  $h_{оп}$  определяющим является требование по  $f_{lim}$ . Следует заметить, что добиваться коэффициента составности  $\psi = 1$  не имеет смысла. Это связано с конструктивными сложностями и не приносит существенного уменьшения высоты ребра по сравнению с  $\psi = 0,7 \dots 0,8$ , достаточным с точки зрения конструктивных решений связи ветвей и эффективности их совместной работы в деревожелезобетонной балке.

Разработка подобных графиков изменения оптимальной высоты ребра  $h_{оп}$  деревожелезобетонной балки в зависимости от коэффициента ее составности  $\psi$  для диапазона пролетов  $l = 9 \dots 33$  м совместно с уже имею- б ья результатами исследований позволяет решать вопросы проектиро- деревожелезобетонных пролетных строений мостовых сооружений исходя из рационального использования материалов, в частности клееной древесины, при удовлетворении всех требований проектирования и нормальной эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулиш, В.И. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой [Текст] / В.И. Кулиш. – М.: Транспорт, 1979. – 160 с.
2. Мельников, Ю.О. Влияние податливости связей на прочность и жесткость деревобетонных мостовых балок [Текст] / Ю.О. Мельников // Тр. СибАДИ. – Омск, 1970. – № 3. – С. 35–45.
3. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
4. Стуков, В.П. Мосты с балками комбинированного сечения из клееной древесины и железобетона [Текст] / В.П. Стуков. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 1997. – 175 с.
5. Стуков, В.П. Мосты с деревожелезобетонными пролетными строениями [Текст]: моногр. / В.П. Стуков. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2007. – 348 с.
6. Gibas, D. The timber bridge: an old and new concept [Text] / D. Gibas // Forest Prod. – 1983. – 33, N 11–12. – P. 6–7.4.
7. Gutkowski, R. Timber bridge: State-of-the-art [Text] / R. Gutkowski, T. Williamson // Journ. of Structural Engineering. – 1983. – Vol. 109, N 9. – P. 2175–2191.

Поступила 11.09.09

---

*V.P. Stukov*

Sevmashvtuz, Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

### **Optimization of Wooden Reinforced-concrete Beam of Road Bridge Span**

The problem of optimizing the edge height of wooden reinforced-concrete beam depending on the ratio of its components in accordance with the bridge design standards is considered.

Keywords: wooden reinforced-concrete beam, edge height, optimization.

---