

УДК 624.011.1

Деревянные клееные конструкции в спортивных зданиях и сооружениях Республики Беларусь

Найчук А.Я.

РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр,
Республика Беларусь

Анотація. Наведені приклади використання дерев'яних клеєних конструкцій у спортивних будівлях і спорудах Республіки Білорусь. Розглянуті питання удосконалення методів розрахунку дерев'яних конструкцій і їх вузлів.

Аннотация. Приведены примеры использования деревянных клееных конструкций в спортивных зданиях и сооружениях Республики Беларусь. Рассмотрены вопросы совершенствования методов расчета деревянных конструкций и их узлов.

Abstract. Examples of using wooden glued structures in sports buildings and constructions of the Republic of Belarus are shown. Issues of developing the methods of wooden structures and their joints calculation are discussed.

Ключевые слова: деревянные клееные конструкции, долговечность, здания, прочность, несущая способность.

Использование в строительстве любого материала определяется его конструктивными возможностями. Применение древесины в качестве конструкционного материала объясняется целым рядом ее положительных свойств: малая собственная масса при достаточно высокой прочности; технологичность изготовления изделий различных габаритов и очертаний; высокая заводская готовность конструкций; коррозионная стойкость; отсутствие конденсата на поверхности; простота сборки и обработки конструкций на строительной площадке; низкие расходы на транспортировку и монтаж конструкций; низкие энергозатраты на обработку сырья и изготовление конструкций (в 8 – 10 раз ниже по сравнению с металлическими и в 3 – 4 раза ниже по сравнению с железобетонными конструкциями); восполняемость сырьевой базы. Значительным импульсом в развитии и расширении области применения деревянных конструкций явилось производство клееной древесины, что способствовало разработке конструкций нового типа – клееных и клефанерных, изготавливаемых на специализированных заводах по производству деревянных клееных конструкций (ДКК).

О преимуществах ДКК свидетельствует постоянный рост производства клееной древесины в технически развитых странах. В 2002 г. в мире было произведено клееной древесины 3430 тыс. м³, в том числе в Европе – 2200 тыс. м³; США – 730 тыс. м³; Японии – 500 тыс. м³. Что касается динамики роста, то можно отметить, что в Европе постоянно наблюдалось

значительное увеличение объемов производства клееной древесины. Так, в 1995 г. он составлял 895 тыс. м³, в 2000 г. – 1590 тыс. м³; 2002 г. – 2200 тыс. м³ и в 2006 г. – 3000 тыс. м³.

Из-за повышенного предела огнестойкости массивных деревянных клееных конструкций во многих зарубежных странах здания с их применением не относятся к пожароопасным. По данным американского института строительства, ежегодные потери от пожаров составляют 885 млн., а от коррозии металлов – 5,5 млрд. долларов.

Одним из главных направлений использования ДКК является строительство объектов спортивного назначения, таких как: крытые стадионы, ледовые арены, теннисные корты, плавательные бассейны, аквапарки, легкоатлетические манежи, залы для игровых видов спорта, спортивно-оздоровительные комплексы.

В спортивных зданиях и сооружениях деревянные конструкции создают особый, ни с чем не сравнимый микроклимат, способствующий оздоровлению организма. В последнее время, как в нашей стране, так и за рубежом, наметился значительный спрос на проектирование и строительство таких объектов. Использование клееной древесины в строительных конструкциях, а также новых соединений элементов конструкций дало возможность перекрывать пространства пролетами более 100 м.

В Республике Беларусь за последние три десятилетия построено свыше 150 зданий и сооружений с использованием ДКК, в том числе 50 большепролетных, большинство из которых относятся к объектам спортивного назначения. Это легкоатлетические манежи пролетом 49 м в г. Гомеле (рис. 1), г. Минске, г.п. Стайки; конноспортивные манежи пролетами 60 и 42 м в г. Гомеле (рис. 2) и г. Минске; теннисные корты пролетами 24 и 20 м в г. Минске и г. Барановичах; многофункциональные спортивные залы пролетами 24 м – 18 м во многих городах и населенных пунктах республики (рис. 3); ледовые арены пролетами 42 м в г. Новополоцке и г. Пинске (рис. 4); бассейны пролетами от 20 м до 36 м в городах Бресте, Пинске, Лунинце. Основными несущими конструкциями покрытий в указанных сооружениях являются трехшарнирные арки, рамы, двухшарнирные арки с затяжками, балки.

В настоящее время разработан типовой проект покрытия стадиона с трибунами на 15 тыс. зрителей. Покрытие запроектировано в виде сетчатого купола из клееной древесины диаметром 120 м (рис. 5). Ведется проектирование аквапарка на озере Нарочь (рис. 6).



Рис. 1. Легкоатлетический манеж в г. Гомеле



Рис. 2. Конноспортивный манеж в г. Гомеле



Рис. 3. Физкультурно-оздоровительный комплекс



Рис. 4. Монтаж (а), натурные испытания (б) и общий вид (в) конструкций покрытия ледовой арены в г. Пинске



Рис. 5. Общий вид крытого стадиона диаметром 120 м (проект)



Рис. 6. Общий вид (а) и модель (б) аквапарка на озере Нарочь (проект)

Наибольшую сложность при проектировании большепролетных ДКК представляют узлы, в которых имеют место действия значительных внутренних усилий, а использование традиционных соединений (нагельных, болтовых и т.п.) не позволяет обеспечить требуемую несущую способность. Кроме того, существующие нормы расчета деревянных конструкций [1] значительно отстают от практики проектирования. Решить эту задачу можно путем использования передовых технологий по изготовлению ДКК, совершенствования методов их расчета и конструирования и

разработки новых видов соединений. К таким соединениям можно отнести клеештыревые и винтовые, которые в последнее время получили наибольшее распространение в деревянных конструкциях Российской Федерации, Республики Беларусь и некоторых странах дальнего зарубежья. Использование таких соединений основывается на результатах экспериментально-теоретических исследований фрагментов узлов и их натуральных испытаний в составе конструкций. Накопленный опыт эксплуатации деревянных конструкций с такими соединениями и результаты испытаний на реальных объектах подтверждают их высокую надежность. Вместе с тем, существующие методы проектирования деревянных конструкций [1], которые в основном были разработаны для конструкций из цельной древесины, не в полной мере отражают, как показала практика, действительную работу конструкций из клееной древесины. Поэтому, простой перенос традиционных способов расчета и конструирования не всегда может быть корректным при проектировании конструкций из клееной древесины и в особенности большепролетных. Несовершенство норм [1], а также нарушения, связанные с условиями транспортировки, монтажа и эксплуатации ДКК, являются основными причинами возникновения разного вида повреждений в конструкциях.

Нормы [1], по которым в ряде стран СНГ осуществляется проектирование деревянных конструкций, в некоторых случаях не отражают специфику работы материала и достижение предельного состояния в ДКК. Если в конструкциях из цельной древесины расчет по точкам с максимальными напряжениями удовлетворительно соответствует их работе, то для ДКК такая оценка прочности оказывается недостаточной. Это объясняется тем, что в проверяемых поперечных сечениях и слоях ДКК с максимальными напряжениями предельное состояние очень часто возникает по площадкам с меньшими уровнями действующих напряжений. Поэтому оценка прочности элементов ДКК, где имеет место сложное напряженное состояние, должна осуществляться по критериям, учитывающим все компоненты плоского или объемного напряженного состояния. Учитывая это обстоятельство, в нормах [2] приопорные зоны большепролетных ДКК с соотношением высоты поперечного сечения к ширине $h/b \geq 4$, а также участки в местах действия сосредоточенных сил, рассчитываются на прочность по главным площадкам с учетом всех компонент плоского напряженного состояния по формуле

$$\sigma_1 = 0,5 \left[\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right] \leq f_{t,a,d}, \quad (1)$$

где σ_1 – значение главного растягивающего напряжения; σ_x , σ_y и τ_{xy} – компоненты плоского напряженного состояния; $f_{t,a,d}$ – расчетное значение

ние сопротивления древесины при растяжении под углом α к направлению волокон.

Здесь $f_{t,a,d}$ определяется из выражения

$$f_{t,a,d} = \frac{f_{t,0,d}}{\cos^4 \alpha + B \sin^2 2\alpha + k \sin^4 \alpha}, \quad (2)$$

где $B = \frac{f_{t,0,d}}{f_{t,45,d}} - \frac{1+k}{4}$; а $k = \frac{f_{t,0,d}}{f_{t,90,d}}$; $f_{t,0,d}$, $f_{t,90,d}$ и $f_{t,45,d}$ – соответственно

расчетные сопротивления древесины при растяжении вдоль, поперек и под углом 45^0 к направлению волокон; α – угол наклона направления главного растягивающего напряжения σ_1 к волокнам древесины.

Вторым немаловажным обстоятельством несовершенства норм [1] является методика расчета криволинейных участков ДКК. Самосклеивание позволило создавать конструкции практически любой кривизны без нарушения монолитности поперечного сечения. При расчете таких участков должны быть использованы формулы для кривых брусьев, позволяющие определять тангенциальные (σ_θ) и радиальные ($\sigma_{\perp r}$) нормальные напряжения в любой точке поперечного сечения. Это особенно важно, когда радиальные напряжения σ_r вызывают растяжение (изгибающий момент уменьшает кривизну). В данном случае гнукотклееный участок может исчерпать свою несущую способность при небольших нагрузках. В связи с этим в нормы [2] были внесены изменения не только по расчету таких участков, но и даны рекомендации по локализации опасных напряжений.

Как уже отмечалось, существенное значение при проектировании большепролетных ДКК имеют узловые соединения, в которых имеет место действия значительных внутренних усилий, а использование традиционных соединений (нагельных, болтовых и т.п.) не позволяет обеспечить требуемую несущую способность. Кроме того, в узловых соединениях чаще всего древесина находится в условиях сложного неоднородного напряженного состояния (концентрации напряжений). К таким случаям можно отнести наличие разного рода подрезок, примыкание опорных стальных пластин под углом к волокнам древесины на части длины поперечного сечения элемента конструкции, наличие отверстий. Использование для оценки прочности известных критериальных зависимостей анизотропных тел приводит к значительному расхождению с экспериментальными данными. Для решения данной задачи могут быть использованы методы механики разрушения, в которых характеристиками прочности материала являются такие параметры, как вязкость разрушения древесины, предельные значения интенсивности освобождения энергии, а также

експериментально підтвержені критерії руйнування. Як показано в роботі [3], розрахункові значення в'язкості руйнування деревини (K_{IC}^P), (K_{II}^P) залежать від її щільності (ρ) і товщини (b) розраховуваного елемента конструкції, які можна визначити за наступними залежностями:

$$K_{IC}^P = 0,086m_{pl}m_{bl}; \quad (3)$$

$$K_{II}^P = 0,604m_{pl}, \quad (4)$$

де для випадку нормального отриву (растяження поперек волокон)

$$m_{pl} = -0,4889 + 2,6456 \cdot 10^{-3} \rho + 6,64263 \cdot 10^{-7} \rho^2; \quad (5)$$

$$m_{pl} = 1,17787 - 6,108^{-3} b + 4,15^{-5} b^2, \text{ при } 10 \leq b \leq 140 \text{ мм}, \quad (6)$$

а для випадку поперечного сдвигу (скальвання вздовж волокон)

$$m_{pl} = -0,8907 + 0,0039 \rho, \quad (7)$$

K_{IC}^P і K_{II}^P – розрахункові значення в'язкості руйнування деревини в МПа \times м^{1/2} при нормальній отриві і поперечному сдвігу; ρ – щільність деревини в кг/м³; b – товщина елемента в мм.

В якості критерію руйнування, згідно дослідженням [4], можна використати емпіричне вираження

$$\frac{K_I}{K_{IC}^P} + \left(\frac{K_{II}}{K_{II}^P} \right)^2 = 1. \quad (8)$$

При розв'язанні даної задачі в зоні концентрації напружень вводиться фіктивна тріщина різної довжини. Несуча здатність елемента конструкції для кожної довжини фіктивної тріщини визначається за вираження

$$R_{li}^p = \frac{R}{\frac{K_I}{K_{IC}^P} + \left(\frac{K_{II}}{K_{II}^P} \right)^2}, \quad (9)$$

де R_{li}^p – несуча здатність елемента конструкції при заданій довжині li фіктивної тріщини; R – величина навантаження, прикладається до елемента конструкції; K_I і K_{II} – коефіцієнти інтенсивності напружень в вершині фіктивної тріщини довжиною li .

На основании полученной зависимости R_i^p от длины l_i фиктивной трещины определяется несущая способность элемента при $l_i = 0$. Данная методика была подтверждена результатами экспериментальных исследований опорных узлов трехшарнирных арок и узлов балок с подрезками на опоре [5, 6].

Выводы

При строительстве объектов спортивного назначения в большинстве случаев целесообразно и экономически оправдано применение деревянных клееных конструкций в качестве несущих конструкций покрытий. Деревянные конструкции являются конкурентноспособными по сравнению с железобетонными и стальными, а в некоторых случаях их применение приводит к значительному экономическому эффекту.

Накопленный опыт проектирования и эксплуатации зданий и сооружений с использованием деревянных клееных конструкций подтверждает их высокую надежность и долговечность.

Актуальными и важными для обеспечения надежности и долговечности деревянных конструкций в научном и прикладном плане остаются задачи совершенствования существующих и разработки новых методов расчета деревянных конструкций с учетом их напряженного-деформированного состояния.

Литература

- [1] СНиП II-25-80 Деревянные конструкции. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982. – 31 с.
- [2] ТКП 45-5.05-146-2009 (02250). Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования. – Минск, Минстройархитектуры, 2009. – 63 с.
- [3] Найчук А.Я., Захаркевич И.Ф. Некоторые вопросы нормирования вязкости разрушения древесины // БрГТУ. Строительство и архитектура. – 2005. – № 2₍₃₂₎. – С. 57 – 59.
- [4] Найчук А.Я. Вязкость разрушения древесины сосны K_{IC} и K_{IIC} при совместном действии нормального отрыва и поперечного сдвига // Строительная механика и расчет сооружений. – 2006. – № 1. – С. 7 – 14.
- [5] Найчук А.Я. Оценка прочности узлов деревянных клееных трехшарнирных арок методами механики разрушения // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 6. – С. 34 – 35.
- [6] Найчук А.Я. О закономерностях изменения несущей способности опорных узлов деревянных клееных балок с подрезками // Строительная механика и расчет сооружений. – 2006. – № 4. – С. 12 – 15.

Надійшла до редколегії 15.06.2010 р.