

НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Высокая относительная прочность клееной древесины, применяемой в перекрытиях больших пролетов, является преимуществом с точки зрения инженера-конструктора [1]. Кроме того клееная древесина позволяет придавать сооружениям любую пространственную форму благодаря природной пластичности тонких досок, что важно для архитекторов [2].

Новые пространственные формы получили развитие в конце прошлого тысячелетия и впервые были представлены на ЕХРО-2000 [3]. Некоторые павильоны имели названия, отвечающие формам их экспозиции: главный павильон «Еврокрыша», символизирующий ЕС; павильон, напоминающий Кита; павильон в форме двух ладоней, простертых к небу, демонстрирующий важность экологии в современном строительстве. Новые тенденции в развитии ККД закрепились, о чем свидетельствует опыт Италии [4, 5, 6]¹.

В [4] новые решения пространственных зданий и сооружений с применением ККД названы *Liberta compositiva* – свобода композиции. Прежде чем привести примеры объектов, созданных свободой выбора конструктивной формы, рассмотрим два объекта традиционных форм, построенных в девяностые годы прошлого столетия, которые привлекают внимание некоторыми нестандартными конструктивными решениями.

Пеший мост пролетом 84 м (рис. 1). Балки пролетного строения сечением 22×200 см парными подвесками (сеч. 12×20 см) с шагом 4 м подвешены к аркам сечением 22×190 см. Арки с затяжками (балками) наклонены друг к другу с отклонением от вертикали на 10°. Таким образом поперечное сечение моста имеет вид трапеции (рис. 1, а) высотой в осях арок и балок 13 м, шириной внизу 5 м и вверху 0,5 м. Общая пространственная жесткость моста обеспечивается крестовыми связями поверху из круглой стали с распорками между арками сечением 12×100 см и пролетным строением понизу.



В.З. Клименко

профессор кафедры металлических и деревянных конструкций Киевского национального университета строительства и архитектуры, к.т.н., профессор

Оригинальным конструктивным образом решена боковая устойчивость приопорных участков арок длиной по 12 м с применением внешних встречных упоров и затяжек – распорок из металлических труб (рис. 1, б). Внутри пролетного строения размещены трубопроводы и различная хозяйственная коммуникация.

Арки покрытия спортивного зала пролетом 67,5 м (рис. 2). Поперечники здания с шагом 9 м решены из арок из клееной древесины и железобетонных колон. По ряду А арки опираются на массивные контрфорсного типа фундаменты, расположенные на расстоянии 4,5 м от здания (рис. 2, а). Узел опирания выполнен с применением валикового шарнира. По ряду Б арки свободно опираются на качающиеся колонны, шарнирно опертые на фундаменты (рис. 2, б). Конструкция конькового узла не видна. Арка переменного сечения по высоте имеет ширину 22 см. Опорное сечение по ряду А состоит из 50 слоев досок толщиной по 3,5 см – 175 см. Опирание арок по осям выполнено на разной высоте от поверхности земли.

Особенностью покрытия является расположение арок снаружи здания. Очевидно, что меры защиты от атмосферных воздействий обеспечивают проектную долговечность клееной древесины.

Качающиеся опоры по ряду Б не препятствуют горизонтальным перемещениям при деформации арок в плоскости поперечников. Термические линейные деформации, как известно, в древесине отсутствуют.

¹ Объем и содержание информации по объектам с применением ККД различные, часто дается только качественная характеристика без общих размеров и геометрических параметров конструкций. Первоисточники из Biblioteca Gambalunga. Rimini. Перевод выполнила О. Клименко.



Рис. 1. Пешеходный мост пролетом 84 м:

а – вид вдоль оси; б – обеспечение боковой устойчивости опорных участков арок



Рис. 2. Общий вид спортивного зала (фото фронтальное):

а – опирание арок на контрфорсные фундаменты; б – опирание арок на качающиеся колонны

Новые конструктивные формы. Сооружение геостанции напоминает гигантскую птицу с распростертыми крыльями (рис. 3). Его пространственная форма принципиально отличается от эксплуатируемых геостанций, имеющих ровные плоскости, расположенные под определенным углом к поверхности земли. В новом решении разный угол наклона солнечных батарей и их ориентация согласно перемещению солнца обеспечивают большую продуктивность. Основной нагрузкой на сооружение является ветер, вызывающий подъемную силу (как птицам

в полете). Поднятию вверх сооружению препятствуют наклонные подпорки и стальные анкерные тяжи.

Трудно представить, что послужило основой для создания здания, показанного на рис. 4. Известно лишь, что это сооружение многофункционального спортивного назначения. О его размерах можно судить по находящемуся внутри телескопическому автокрану.

Здание коммерческого центра «Le acciaierie» (сталеплавильная компания) состоит из двух частей: центральной, покрытие над которой



Рис. 3. Несущая конструкция геостанции



Рис. 4. Момент строительства здания



Рис. 5. Вид центральной (а) и наружной части здания (б)

решено в виде зонта (рис. 5, а), и наружного кольца (рис. 5, б). Высота центральной башни 29 м, диаметр «зонта» 43 м. Наружное кольцо образовано радиальными двухпоясными балками пролётом 17,5 м, опирающимися на кольцо «зонта» и на криволинейные колонны по наружной окружности здания. Общий диаметр круга, перекрытого уникальной конструкцией, составляет 78 м. Это самое большое здание с конструкциями из клееной древесины («grande sorertura»), реализованное в Европе фирмой Holzbau. Зонт символизирует защиту в большей мере от конъюнктурных влияний рынка, чем атмосферы. Выбор древесины рекламирует технические возможности строительной компании.

Культовое здание – его объёмно-планировочное решение и интерьер выполнены в традиционном для базилик готическом стиле (рис. 6). Здание представляет комбинацию двух пространственных форм: та часть базилики, где устанавливается алтарь или распятие, и в плане

представляющая полукруг, перекрыта кружевными сводами, опирающимися на пилястры также из клееной древесины. Ощущение глубины создается конвергенцией (сходимостью) пилястр. Основная часть базилики, более просторная и прямоугольная в плане, перекрыта цилиндрическими серповидными арками, опирающимися также на пилястры.



Рис. 6. Интерьер культового здания

Впечатление легкости покрытия создается благодаря световым проемам, перекрытым арочками, являющимися нижним опорным контуром для ребер жесткости тонкостенных сводов.

Коммерческий центр «Fiordalisa» (Василек), над центральной частью которого перекрытие в пространстве имеет каплевидную форму (рис. 7).

Особенностью его покрытия является несимметричность в пространстве. Нижний опорный контур представляет ломаный многоугольник, описанный вокруг двух кривых, своей геометрией напоминающих эвольвенты. На плане дана геометрическая схема контура без изображения эволют, необходимых для построения эвольвент по правилам дифференциальной геометрии. В покрытии геометрическим (условным) его центром является верхнее опорное кольцо, из которого расходятся 20 наклонных балок, выполняющих роль ребер покрытия. Верхнее опорное кольцо металлическое с приваренными к нему лепестками-фасонками. Наклонные балки объединены в пространстве также «ломаными» эвольвентами из клееной древесины (подобие трех меридиальных колец). Нижний опорный контур из клееной древесины в местах пересечения прямолинейных элементов опирается на стойки из клееной древесины, использованные в центральном помещении здания эстетическими фрагментами интерьера выполненного в виде прозрачных витражей.

Пространственную жесткость покрытия обеспечивают две плоскости связей-крестов S. Andrea².

Свобода архитектурной композиции особенно ярко проявилась в объекте, напоминающем крыло самолета (рис. 8). В [4] архитектурно-конструктивное решение объекта охарактеризовано как «Volo Liberta fantasia» (полет свободной фантазии).

К сожалению, это все имеющиеся сведения об объекте. Можно предположить, что несущие конструкции из клееной древесины очерчены по гиперболе с применением при проектировании правил аналитической геометрии. По оси гиперболы расположены балки перекрытия. Видны крестовые связи пространственной жесткости.

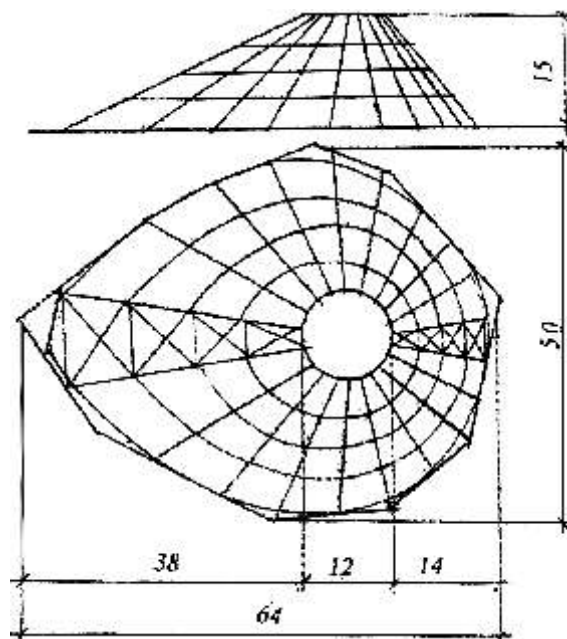


Рис. 7. Общий вид коммерческого центра



Рис. 8. Сооружение в форме крыла самолета

2 Так называются крестообразные связи жесткости. У нас эти кресты известны как кресты Св. Андрея Первозванного.

На рисунке видна верхняя станция фуникулера от берега озера на вершину горы к музейному комплексу в старинном дворце-замке. «Свободная фантазия» формы объекта скорее всего вызвана желанием придать ему аэродинамическую обтекаемость при ветровых воздействиях в горном ущелье, то есть для решения сугубо технической проблемы.

В описанных объектах применены несущие конструкции большой кривизны, в которых действуют опасные для клееной древесины радиальные напряжения, направленные поперек волокон, чему древесина сопротивляется очень слабо. В проектной практике Италии проверка прочности криволинейных элементов из клееной древесины на действия напряжений растяжения поперек волокон уделяется серьезное внимание. В капитальном учебнике [6] в его пятом издании приведены методика расчета радиальных напряжений (рис. 9) и проверка прочности криволинейных элементов с учетом этих напряжений.

Условие прочности клееной древесины в поперечном сечении, где действует максимальный изгибающий момент, записано формулой «tensioni composte»

$$\frac{\sigma_0}{f_0} + \frac{\sigma_{90}}{f_{90}} + \frac{\sigma_v}{f_v} = 1. \quad (1)$$

Подобная проверка отсутствует в Европейских нормах. Ее выполнение в итальянской методике расчета свидетельствует о чрезвычайной важности учета сложного напряженного состояния клееной древесины в криволинейных элементах при изгибающем моменте, направленном навстречу кривизне. Эта проверка имеет императивный характер и поэтому включена в национальный нормативный документ [7].

В отличие от условия (1) условие автора после упрощения решения, полученного на основании энергетической теории прочности [8], имеет вид

$$\frac{m}{f_m} + \frac{\sigma_0}{f_0} + A \frac{\sigma_{90}}{f_{90}} + C \frac{\sigma_v}{f_v} = 1. \quad (2)$$

Параметры перед составляющими $(\sigma_{90}/f_{90})^2$ и $(\sigma_v/f_v)^2$ учитывают деформационные характеристики цельной древесины в плоскостях ее условной структурной симметрии.

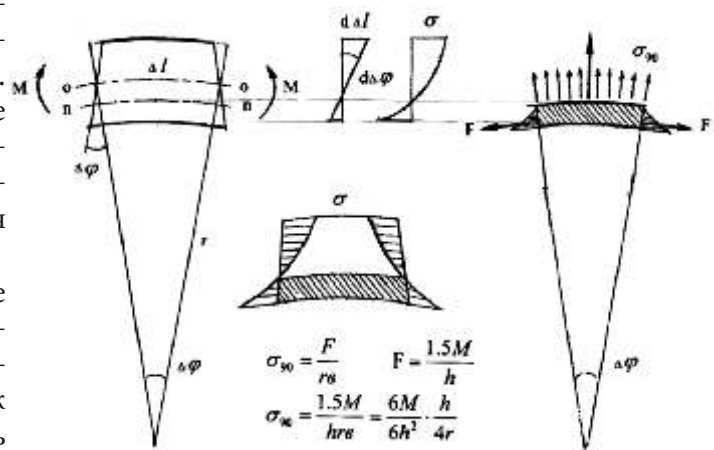


Рис. 9. К расчету радиальных напряжений σ_{90}

Установленные А.Н. Митинским [9] модули упругости и сдвига, а также коэффициенты поперечных деформаций характеризуют ортотропию упругости цельной древесины. В многослойной клееной древесине с радиальной, тангенциальной, смешанной распиловкой досок при наличии жестких связей между слоями, упругие ее свойства отличаются от упругих свойств цельной древесины и могут быть различны в отдельных слоях. Дело не в количественном различии упругих характеристик для цельной и многослойной древесины, а в их неопределенности в клееной древесине. Это не отвечает принципу математической логики, который предполагает адекватность расчетных формул физическим явлениям. Параметры А и С в условии (2) нельзя принимать за абсолютные константы в клееной древесине, поскольку не известны упругие характеристики древесины в месте неблагоприятного сочетания составляющих тензора сложного напряженного состояния. Можно сказать, что параметры А и С в каждом случае проверки прочности клееной древесины в элементах по условию (2) случайные. По этой причине автор исключил их из условия (2) и в публикациях, следующих за [8], и в [10] предложено прочность клееной древесины при сложном напряженном состоянии (СНС) проверять согласно квадратичному критерию типа

$$\frac{\sigma_{i,d}}{f_{i,d}} = 1, \quad (3)$$

в котором индекс «*i*» означает вид напряжения, а «*n*» их количество в комбинаторике СНС. Самым опасным СНС есть такое, в тензоре которого присутствуют напряжения растяжения вдоль и поперек волокон древесины. Именно такой случай показан на рис. 9 и отражен в условии (1).

Подобное СНС стало причиной разрушения конструкций из клееной древесины при их широком применении в последней четверти прошедшего столетия. Это стало поводом следующей рекомендации в [11], где, оценивая степень влияния растягивающих поперечных напряжений на прочность элементов, проф. Ю.М. Иванов считал, что такая работа древесины должна быть исключена. Но это означает отказ от конструктивных форм, в которых растягивающие поперечные напряжения неизбежны. Примеры таких конструкций приведены в данной статье.

С методологической позиции в нормативных документах и учебной литературе не место расчетам при наличии в них физических не-

определенностей. Это признак софистики, а не объективного научного решения технической проблемы. В расчете элементов из клееной древесины с учетом СНС в стандарте [7], представленном условием (2), содержится неопределенность формализации расчета при отсутствии статистических значений модулей упругости и коэффициентов поперечных деформаций для многослойной клееной древесины в зависимости от толщины отдельного слоя, их количества в пакете, структуры каждого слоя и других факторов биологического строения древесины.

Сопоставление расчета по условию (2) с параметрами *A* и *C*, найденными с использованием деформационных характеристик по [9], с расчетом по условию (1) показало, что условие (1) повышает проектную надежность элементов. Оно своей математической формой интегрально учитывает неопределенность анизотропии физико-механических свойств многослойной клееной древесины. Его целесообразно использовать взамен условия (2) в расчетах криволинейных элементов из клееной древесины.

-
- [1] Клееные деревянные конструкции в зарубежном и отечественном строительстве (обзор)/ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. – 1977. – С.108.
 - [2] Клименко В.З. Конструкції з клеєної деревини. Світовий досвід // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2009. – № 1. – С. 39–43.
 - [3] Фурсов В.В. и др. Современные конструкции из клееной древесины // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2010. – № 2. – С. 34–40.
 - [4] Mottura G., Pennisi A. / Costruire con legno lamellare/ Maggioli editore / Litografia Titanlito S.r.l. – Repubblica San Marino. – 2012. С. 177.
 - [5] Stefano Cascio. Consolidamento solai di legno grafill. Tecniche di intervento ed esempi pratici. Officine Tipografiche Aiello and Provenzano S.r.l. – 2007. – С.180.
 - [6] Guglielmo Giordano. Tecnica delle costruzioni in legno. Editore Ulrico Hoepli Milano. – 2010. – С. 600.
 - [7] ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012. Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування. – Мінрегіон України. – 01.04.2013.
 - [8] Клименко В.З. Критерий прочности древесины при сложном напряженном состоянии // Соппротивление материалов и теория сооружений. № 53, – 1987. – С. 104–109.
 - [9] Митинский А.Н. Упругие постоянные древесины как ортотропного материала. – Л.: Труды лесотехнической академии. – 1948. – № 63. – С. 22–54.
 - [10] Методические рекомендации по расчету строительных конструкций из клееной древесины с учетом сложного напряженного состояния материала // Клименко В.З. – КИСИ. – 1989. – 50 с.
 - [11] Иванов Ю.М., Славик Ю.Ю. Длительная прочность древесины на растяжение поперек волокон // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – №10. – 1986. – С. 22–26.

Надійшла 05.11.2014 р.