

УДК 624.011

## **Сравнительный расчет огнестойкости клееных деревянных конструкций покрытий ледовых площадок**

Завадский В.Ю.

(Научный руководитель – Згировский А.И.)

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Элементы деревянных конструкций могут обладать высокой огнестойкостью. При действии огня их наружные слои обугливаются, создавая защитный слой, препятствующий дальнейшему уменьшению сечения и сохраняющий элементу несущую способность на более продолжительное время. Расчет деревянных конструкций с учетом обеспечения требуемой огнестойкости в большинстве случаев является определяющим, в особенности при малых сечениях.

Предел огнестойкости несущих конструкций выполнялся для деревянных элементов покрытия в запроектированном ледовом дворце в г. Минске. Для сравнительного расчета принимались физико-механические характеристики материалов: по данным фирмы производителя конструкций (класс древесины – GL32c) и по белорусским строительным нормам (древесина 1 сорта).

Основными несущими конструкциями игрового поля являются трехшарнирные арки, установленные с шагом 6,0 м. Над этими арками располагаются криволинейные балки, опирающиеся на арки через стойки. Самые длинные стойки располагаются по контуру здания, в зоне конька стойки отсутствуют. По верхним балкам покрытия уложены прогоны с шагом 1,0 м. По торцам здания также установлены наклонные балки с шагом 3,0 м, по которым уложены прогоны с шагом 1,0 м (рисунок 1).

Трехшарнирные арки кругового очертания опираются на железобетонные конструкции. Усилие от распора воспринимается стальной затяжкой, размещенными в конструкции пола здания. Для обеспечения жесткости покрытия используются ветровые фермы, состоящие их клееных деревянных распорок и стальных связей. Для крепления кровельного пирога по прогонам покрытия уложены листы фанеры.

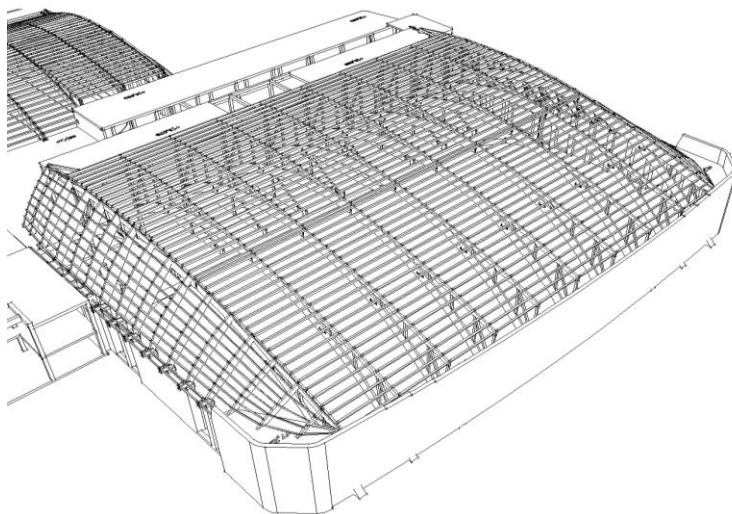


Рисунок 1 – Общий вид игровой площадки ледового дворца

Основная несущая конструкция тренировочного катка состоит из трехшарнирных арок кругового очертания со стальными затяжками. Арки установлены с шагом 6,0 м. По аркам уложены прогоны с шагом 1,0 м. По торцам здания установлены наклонные балки с шагом 3,0 м, по которым уложены прогоны с шагом 1,0 м (рисунок 2).

Трехшарнирные арки опираются на железобетонные колонны. Одна из опор выполнена подвижной, путем постановки фторопластовой пластины толщиной 10 мм. Наклонные балки в торцевых частях здания опираются на кирпичные стены. Для обеспечения жесткости покрытия используются ветровые фермы, состоящие их клееных деревянных распорок и стальных связей. По прогонам покрытия крепятся листы фанеры, что также способствует повышению устойчивости конструкции покрытия.

Клееные деревянные конструкции изготовлены на заводе компании «LANT-RAKENTEET OY» (Финляндия). Расчеты конструкций производились в соответствии с Европейскими нормами.

Расчет огнестойкости конструкций покрытия проводился согласно правилам расчета строительных конструкций, установленных ТКП 45-2.02-110-2008 «Конструкции строительные. Правила определения пределов огнестойкости» [4].

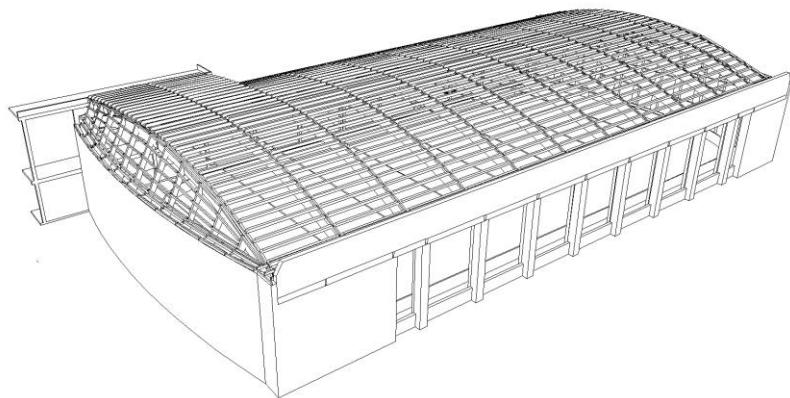


Рисунок 2 – Общий вид тренировочного зала ледового дворца

Предел огнестойкости является классификационной характеристикой строительных конструкций, определяющей область их применения. Нормируемые значения пределов огнестойкости конструкций определяются по таблице 4 [3].

Предел огнестойкости конструкции характеризуется интервалом времени, в течение которого она способна сохранять несущие и (или) ограждающие функции от начала огневого воздействия.

Нормируются следующие предельные состояния:

- потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций. Устанавливается для несущих элементов, к которым относятся: несущие стены, рамы, колонны, связи, диафрагмы жесткости, элементы покрытий (фермы, арки, ригели, балки, плиты) и другие конструкции, обеспечивающие общую устойчивость и геометрическую неизменяемость зданий;

- потеря целостности (E) в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя;

- потеря теплоизолирующей способности (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на  $140^{\circ}\text{C}$ , в любой точке этой поверхности более чем на  $180^{\circ}\text{C}$ , по сравнению с температурой конструкции до нагрева, или достижения температуры конструкции более чем  $220^{\circ}\text{C}$ .

Предельные состояния по потере целостности (E) и (или) теплоизолирующей способности (I) устанавливаются для ограждающих конструкций.

Для нормирования пределов огнестойкости строительных конструкций – колонн, балок, ферм, арок и других стержневых конструкций, а используется только (R).

Обозначение предела огнестойкости конструкции состоит из условных обозначений, нормируемых для данной конструкции предельных состояний и цифры, соответствующей наименьшему времени достижения одного из указанных состояний, округленной до ближайшего меньшего значения из стандартного ряда: 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 150 мин.

Пределы огнестойкости конструкций определяются по результатам огневых испытаний. При невозможности создания реальных условий работы конструкций в стандартных огневых испытаниях, предел огнестойкости конструкций определяется расчетом в соответствии с требованиями [4]. Правила расчета пределов огнестойкости деревянных конструкций не распространяются на элементы каркаса панелей ограждений, на конструкции, несущими элементами которых являются фанера, древесно-волоконистые и древесностружечные плиты.

Скорость обугливания древесины зависит продолжительности температурного режима пожара, ее плотности и влажности, количества сторон обогрева, размеров сечения конструкции, состояния поверхности циркуляции воздуха и других факторов. Для клееной древесины скорость обугливания ( $v$ , мм/мин) принималась в соответствии с таблицей 8.1 [4] для элементов с наименьший размером сечения деревянного элемента конструкции менее 120 мм – 0,7 мм, 120 мм и более – 0,6 мм.

Предельная температура, при которой слои древесины перестают воспринимать внешнюю нагрузку, составляет 230°C.

Огнезащитная обработка деревянных конструкций не сокращает скорость обугливания, а увеличивает время ее прогрева. Значения времени до начала обугливания древесины приведены в таблице 8.2 [4].

Расчет по прочности и устойчивости при заданной огнестойкости ведут на действие нормативных нагрузок. Временные сопротивления клееной древесины при огневой воздействии принимаются равными нормативным сопротивлениям древесины согласно [1].

При определении предела огнестойкости деревянных конструкций физико-механические характеристики материалов принимались согласно данным фирмы производителя конструкций в соответствии с EN 1995-1-1 и ТКП 45-5.05-146-2009 [1].

Характеристики применяемой древесины для клееных конструкций покрытия тренировочного и игрового полей:

– европейская ель, класс GL32с, плотность древесины – 470 кг/м<sup>3</sup>  
–  $f_{m,k} = 32,0$  МПа – нормативное сопротивление древесины изгибу (для древесины класса GL32с);

–  $f_{c,k} = 26,5$  МПа – нормативное сопротивление древесины сжатию (для древесины класса GL32с);

–  $f_{m,k} = 26,0$  МПа – нормативное сопротивление древесины изгибу (ТКП 45-5.05-146-2009);

–  $f_{c,k} = 24,0$  МПа – нормативное сопротивление древесины сжатию (ТКП 45-5.05-146-2009);

Расчет деревянных конструкций на прочность и устойчивость при заданной огнестойкости ведут на действие нагрузок с учетом обугливания поперечного сечения. Общий ход расчета включает в себя:

1) Определение времени, соответствующее пределу огнестойкости по предельному состоянию R деревянного элемента или конструкции, определяется по формуле

2) Нахождение глубины обугливания (с учетом размера слоя сечения за фронтом обугливания, равного 5 мм, который не сопротивляется действующим на элемент нагрузкам)

$$\delta_{cf} = v\tau_i + 5,$$

где  $v$  – скорость обугливания древесины

$\tau_i$  – время, принятое для расчета, мин.

3) Изменение размеров прямоугольного сечения  $h_{fi} \times b_{fi}$  деревянных стержневых элементов после обугливания зависит от схемы теплового воздействия:

$$h_{fi} = h - n_f \delta_{cf},$$

$$b_{fi} = b - n_f \delta_{cf},$$

где  $h$  – высота поперечного сечения деревянного стержневого элемента до огневого воздействия, мм;

$b$  – ширина поперечного сечения деревянного стержневого элемента до огневого воздействия, мм;

$n_f$  – количество обогреваемых сторон конструкции (в расчете принято 4 стороны);

$\delta_{cf}$  – глубина обугливания древесины при пожаре, мм.

4) Нахождение геометрических характеристик ослабленного сечения с дальнейшим расчетом конструкций на устойчивость и прочность.

Также при расчете конструкций с учетом обеспечения требуемой огнестойкости необходимо выполнять следующие требования:

1) Площадь поперечного сечения нетто деревянных элементов сквозных несущих конструкций должна быть не менее 5000 мм<sup>2</sup>, а также не менее 0,5 полной площади сечения брутто.

2) Любой размер сечения должен не менее 60 мм.

3) Предельная гибкость не поврежденной огнем части сечения не должна превышать 180.

Расчет произведен в MS Excel, результаты расчета приведены таблице 1.

### **Литература**

1. СНиП 2.01.07–85. «Нагрузки и воздействия».

2. ТКП-45-5.05 -146-2009. Деревянные конструкции. Нормы проектирования.– Минск, 2009.

3. СНБ 2.02.01-98 Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов.– Минск, 1998.

4. ТКП 45-2.02-110-2008 Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости.– Минск, 2008.

Таблица 1 – Сравнительная таблица расчета огнестойкости по ТКП и EN

Конструкция	EN 1995-1-1					ТКП-45-5.05 -146-2009				
	Время $\tau$ , мин	$\sigma_{c,0,d}$ , МПа $\sigma_{m,d}$ , МПа	Выполнение условия	$N_{max}$ , кН $M_{max}$ , кНм	Предел	Время $\tau$ , мин	$\sigma_{c,0,d}$ , МПа $\sigma_{m,d}$ , МПа	Выполнение условия	$N_{max}$ , кН $M_{max}$ , кНм	Предел
Стойка D-1A	15	23	выпол.	131 кН	<b>R15</b>	15	15,2	выпол.	131 кН	<b>R15</b>
	30	34,3	не выпол.		-	30	35,2	не выпол.		-
Стойка P-2D	45	3.03	выпол.	24 кН	<b>R45</b>	30	1,14	выпол.	24 кН	<b>R30</b>
	60	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-
Распорка H-1x	30	18.2	выпол.	48 кН	<b>R30</b>	30	18,19	выпол.	48 кН	<b>R30</b>
	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$ 31,90	не выпол.		-
Стойка Q-1x	30	18.84	выпол.	48 кН	<b>R30</b>	30	18,82	выпол.	48 кН	<b>R30</b>
	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$ 33,16	не выпол.		-
Стойка D-2A	30	7.46	выпол.	35 кН	<b>R30</b>	30	7,45	выпол.	35 кН	<b>R30</b>
	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-
Прогон E-1x	30	21,05	выпол.	12 кНм	<b>R30</b>	15	14,13	выпол.	12 кНм	<b>R15</b>
	45	34,3	не выпол.		-	30	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-
Балка M-1x	45	14,21	выпол.	27 кНм	<b>R45</b>	45	14,21	выпол.	27 кНм	<b>R45</b>
	60	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-	60	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-

Окончание таблицы 1

Конструкция	EN 1995-1-1					ТКП-45-5.05 -146-2009				
	Время $\tau$ , мин	$\sigma_{c,0,d}$ , МПа $\sigma_{m,d}$ , МПа	Выполнение условия	$N_{max}$ , кН $M_{max}$ , кНм	Предел	Время, $\tau$ , мин	$\sigma_{c,0,d}$ , МПа $\sigma_{m,d}$ , МПа	Выполнение условия	$N_{max}$ , кН $M_{max}$ , кНм	Предел
Прогон Е-2х	15	7,5	выпол.	3 кНм	<b>R15</b>	15	7,48	выпол.	3 кНм	<b>R15</b>
	30	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-	30	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$ $b_{inf} < 60$ мм	не выпол.		-
Арка К-1х	30	22,95	выпол.	310 кНм 521 кН	<b>R30</b>	30	23,77	выпол.	310 кНм 521 кН	<b>R30</b>
	45	29,8	не выпол.		-	45	30,77	не выпол.		-
Балка В-1А, В-1В	15	31,6	выпол.	117 кНм	<b>R15</b>	15	31,31	не выпол.	117 кНм	<b>R0</b>
	30	39	не выпол.		-					-
Арка А-1х, А-2х	45	24,25	выпол.	401 кНм 619 кН	<b>R45</b>	30	20,16	выпол.	401 кНм 619 кН	<b>R30</b>
	60	31,06	не выпол.		-	45	24,97	не выпол.		-
Нога С-1	30	13,33	выпол.	38 кНм 26 кН	<b>R30</b>	30	13,32	выпол.	38 кНм 26 кН	<b>R30</b>
	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$	не выпол.		-	45	$A_{inf} < 0.5 A_{sup}$ $b_{inf} < 60$ мм	не выпол.		-