

## **ХЛАДОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Шаповалов Эдуард Леонидович**

*Доцент кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВПО «Магнитогорский  
государственный технический университет им. Г.И. Носова»,  
кандидат технических наук,*

**Ковалева Татьяна Андреевна**

*Инженер ОАО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ»*

Конструкции зданий и сооружений, испытывающие непосредственное влияние низких температур в процессе эксплуатации, необходимо проверять на хладостойкость расчетными методами.

Оценку хладостойкости металлоконструкций принято проводить для элементов толщиной 10 мм и более. Но исследования показывают, что опасность реализации хрупкого разрушения конструкций при естественно низких температурах возможна и при меньших толщинах [1]. Поэтому целесообразно это делать для элементов из конструкционных сталей при толщине 8 мм и более.

Оценка важна для сохранения условий безопасной работы конструкций и предотвращения негативных последствий хрупких разрушений, приводящих к авариям зданий и сооружений. Особенно это относится к конструкциям, имеющим длительный срок эксплуатации. С течением времени естественным образом под действием нагрузок и внешних воздействий происходит процесс изменений структурного и качественного характера свойств металла. Возможно снижение прочностных и пластических характеристик, параметров ударной вязкости. К тому же материал конструкций, изготовленных 50 и более лет тому назад, имеет свои особенности механических свойств и пластических характеристик ввиду технологических факторов производства металла и изготовления конструкций зданий и сооружений времени их постройки.

Всестороннее изучение фактических свойств конструкций, оценка их несущей способности с учетом влияния условий работы и окружающей среды позволяют продлить оптимальный срок эксплуатации. Это определяет экономическую целесообразность и объем вложений в реконструкцию и ремонт зданий и сооружений.

Примером такого изучения служит обследование конструкций покрытия здания Московского ГУМа (ОАО ДТ ГУМ) специалистами компании «ВЕЛД» совместно с сотрудниками Экспертно-диагностического и испытательного центра Московского государственного строительного университета.

Конструкции здания ГУМа имеют срок эксплуатации 120 лет. Временами проходили реконструкционные работы, но основные несущие элементы здания не подвергались существенным изменениям или замене.

Арочное покрытие здания торговых рядов (рис. 1) состоит из уголков  $76 \times 50 \times 9,5$  мм, закрепленных тяжами с одинарным остеклением фонаря.

Проведенное исследование проб металла показало, что материал конструкций соответствует стали СтЗкп класса С235 по химическому составу и механическим свойствам согласно современным нормативным требованиям.

Исследования характеристик хладостойкости стали по ударной вязкости КСУ образцов, вырезанных из арочной конструкции, показало, что порог хладноломкости в  $0,3 \text{ МДж/м}^2$  находится в пределах температуры минус  $20-30^\circ\text{C}$  ниже нуля. А по критерию процентных составляющих в изломе, переход в квазихрупкое состояние происходит при температуре  $10-14^\circ\text{C}$  выше нуля.

Данные характеристики отражают количественные показатели исследуемых параметров. И с учетом низких результатов хладостойкости стали необходимо проведение расчета на хрупкую прочность элементов конструкций покрытия здания, подверженных естественному воздействию низких температур. Традиционно для этого применяются методики: СНиП II-23-81\*, НИСИ [2] и ЦНИИПСКа [3].



Рис. 1. Арочное покрытие торговых рядов Московского ГУМа

**Метод СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции»**

Условие сопротивления хрупкому разрушению выражается формулой

$$\sigma_{max} \leq \beta \cdot R_u / \gamma_u,$$

где  $\sigma_{max} = 255$  МПа – наибольшее растягивающее напряжение в арке;

$R_u = \sigma_B / \gamma_m = 401 / 1,2 = 334$  МПа – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;

$R_y = \sigma_T / \gamma_m = 261 / 1,2 = 217$  МПа – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;

$\sigma_B = 401$  МПа – временное сопротивление стали;

$\sigma_T = 261$  МПа – предел текучести стали;

$\gamma_m = 1,2$  – коэффициент надежности по материалу, согласно п.8.4.4 СП 13-102-2003;

$\beta = 1$  – коэффициент по таблице 84 СНиП II-23-81\*;

$\gamma_u = 1,3$  – коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению.

$$255 \text{ МПа} < 1 \cdot 334 / 1,3 = 257 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется, конструктивное решение допустимо.

**Метод НИСИ**

Температура перехода из вязкого состояния в квазихрупкое определяется по формуле

$$T_{cr1} = A + B \cdot t,$$

где  $A = -70^\circ\text{C}$ ,  $B = 2^\circ\text{C}/\text{мм}$  – расчетные коэффициенты согласно схеме конструктивной формы при наличии отверстий в конструкции и ослабления заклепок;

$t = 9,5$  мм – толщина элемента;

$T_3 = -28^\circ\text{C}$  – расчетная низкая температура согласно СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология» (с обеспеченностью 0,92).

$$T_{cr1} = -70 + 2,0 \cdot 9,5 = -51^\circ\text{C};$$

$$T_{cr1} = -51^\circ\text{C} < T_3 = -28^\circ\text{C}.$$

Первая критическая температура переходного состояния металла находится ниже возможной низкой температуры эксплуатации конструкции. Поэтому дальнейшая проверка сопротивления хрупкому разрушению нецелесообразна.

**Метод ЦНИИПСКА**

Значения первой и второй критической температуры хладноломкости стали:

$$T_{к1} = m_1 + c_1 = 50 + 133 = 183\text{К};$$
$$T_{к2} = m_2 + c_2 = 6,6 + 100 = 106,6\text{К},$$

где  $m_1, m_2, c_1, c_2$  – расчетные коэффициенты по схемам конструкций.

С учетом факторов снижения ударной вязкости и особенностей работы конструкций покрытия теоретический коэффициент концентрации напряжений для конструктивной формы несущих элементов можно принять в пределах 1,3-3,0.

Температурные поправки:

$$\sum \Delta T_{к1} = \Delta T_{к1}^D + \Delta T_{к1}^T + \Delta T_{к1}^C = 20 + 20 + 10 = 50\text{К};$$
$$\sum \Delta T_{к2} = \Delta T_{к2}^D + \Delta T_{к2}^T + \Delta T_{к2}^C = 40 + 30 + 20 = 90\text{К},$$

где  $\Delta T_{к1}^D = 20\text{К}$ ,  $\Delta T_{к2}^D = 40\text{К}$  – повышение критических температур при динамическом действии нагрузки;

$\Delta T_{к1}^T = 20\text{К}$ ,  $\Delta T_{к2}^T = 30\text{К}$  – повышение критических температур при технологических операциях, приводящих к локальному наклепу стали;

$\Delta T_{к1}^C = 10\text{К}$ ,  $\Delta T_{к2}^C = 20\text{К}$  – повышение критических температур в связи со старением стали.

Значения критических температур:

$$T_{cr1} = T_{к1} + \sum \Delta T_{к1} + \Delta T_1 = 183 + 50 + 10 = 243\text{К} = -30^0\text{С};$$
$$T_{cr2} = T_{к2} + \sum \Delta T_{к2} + \Delta T_2 = 106,6 + 90 + 20 = 216,6\text{К} = -56,4^0\text{С},$$

где  $\Delta T_1 = 10\text{К}$ ,  $\Delta T_2 = 20\text{К}$  – температурные запасы вязкости для первой и второй критических температур.

$$T_{cr1} = -30^0\text{С} < T_9 = -28^0\text{С}.$$

Первая критическая температура стоит ниже температуры эксплуатации конструкции. Материал конструкции находится в вязком состоянии.

Хладостойкость с учетом температуры воздуха наиболее холодной пятидневки  $-30^0\text{С}$  (при обеспеченности 0,98), равной температуре эксплуатации.

$$T_{cr1} = T_9 = -30^0\text{С}.$$

Коэффициенты  $\beta_1$  и  $\beta_2$  равны 1.

$$\sigma_{\max} \leq \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot R_u / \gamma_u,$$

$$255 \text{ МПа} < 1 \cdot 1 \cdot 334 / 1,3 = 257 \text{ МПа}.$$

Условие сопротивления хрупкому разрушению выполняется.

По заданию на проектирование допускается принимать за расчетную более низкую температуру наружного воздуха (наиболее холодных суток). Проведем расчет с температурами  $-32^\circ\text{C}$  (0,92) и  $-36^\circ\text{C}$  (0,98).

$$T_{cr1} = -30^\circ\text{C} > T_o = -32^\circ\text{C}.$$

Коэффициенты:

$$\beta_1 = \left(1 - \frac{R_y}{R_u}\right) \cdot \left(\frac{T_o - T_{cr2}}{T_{cr1} - T_{cr2}}\right) + \frac{R_y}{R_u} = \left(1 - \frac{217}{334}\right) \cdot \left(\frac{241 - 216,6}{243 - 216,6}\right) + \frac{217}{334} = 0,973;$$

$$\beta_2 = 0,35 \cdot \left(\frac{T_o - T_{cr2}}{T_{cr1} - T_{cr2}}\right) + 0,65 = 0,35 \cdot \left(\frac{241 - 216,6}{243 - 216,6}\right) + 0,65 = 0,972.$$

$$255 \text{ МПа} > 0,973 \cdot 0,972 \cdot 334 / 1,3 = 243 \text{ МПа}.$$

При  $T_{cr1} = -30^\circ\text{C} > T_o = -36^\circ\text{C}$ ,  $\beta_1 = 0,92$  и  $\beta_2 = 0,92$ .

$$255 \text{ МПа} > 0,92 \cdot 0,92 \cdot 334 / 1,3 = 217 \text{ МПа}.$$

В этих двух случаях условие не выполняется (рис. 2).

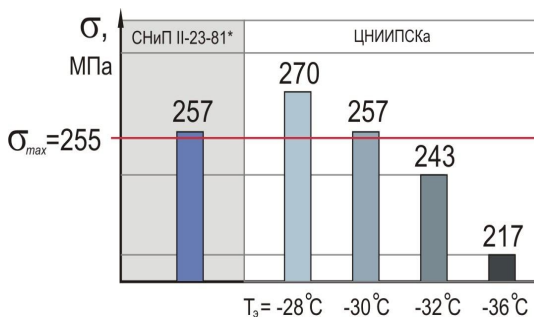


Рис. 2. Результаты оценки хладостойкости по двум методам

Разница результатов расчета по различным методам свидетельствует об отличиях в подходе к оценке хладостойкости конструкций и необходимости дальнейшего совершенствования методов.

Исследование хладостойкости конструкций покрытия здания торгового центра позволяет сделать вывод, что конструкции покрытия обладают определенным сопротивлением хрупкому разрушению. Но с учетом фактических свойств стали, имеющей длительный срок эксплуатации, необходим периодический мониторинг технического состояния, чтобы не

допускать влияния дефектов и повреждений, ослабления тяжёлой арочных конструкций и соответственно напряжений превышающих предельные значения для данного металла. Обеспечение нормативных условий работы конструкций увеличит период безопасной эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. Шаповалов Э.Л. Прочность и хладостойкость стальных конструкций из холодногнутых профилей открытого сечения: дис. ... канд. техн. наук (05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения): - Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 1999, - 193 с.
2. Проектирование металлических конструкций / В.В. Бирюлёв, И.И. Кошин, И.И. Крылов, А.В. Сильвестров; Под ред. В.В. Бирюлёва. - Л.: Стройиздат, 1990. - 432 с.
3. Руководство по расчёту стальных конструкций на хрупкую прочность ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова. - М., 1983. -13 с.