

УДК 621.774.2

В. Ф. МУЩАНОВ, А. Н. ОРЖЕХОВСКИЙ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГНУТОСВАРНЫХ ТРУБ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ УКРАИНСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по определению и сравнению реальных прочностных и геометрических характеристик сечений стальных гнутосварных труб прямоугольного сечения по ГОСТ 8645-68. Сравниваются характеристики металлопроката двух украинских производителей между собой, а также с нормативными значениями.

надежность, испытания, прочностные и геометрические характеристики, статистические характеристики, закон распределения

В мире более 36 % стационарных покрытий над трибунами стадионов представлены стержневыми рамно-консольными системами. Данный тип конструкций применяется и в гражданском строительстве. В действующих нормативных документах не приведены способы численной оценки надежности данных конструкций (в том числе в виде коэффициента условий работы γ_c), а в случае с уникальными конструкциями данные методы вообще не применимы. К тому же используемый метод «частных коэффициентов запаса» в ДБН В.2.6-163-2010 приводит к некоторому перерасходу стали [2]. Следовательно, можно сделать вывод о необходимости применения прямых методов теории надежности для определения показателей надежности рамно-консольных конструкций и последующего уточнения значений γ_c . Обобщенное условие безотказной работы (неразрушимости) обычно записывается в следующем виде:

$$\hat{Y}(t) = \hat{R}(t) - \hat{S}(t), \quad (1)$$

где $\hat{R}(t)$ – обобщенная несущая способность конструкции или элемента (в большинстве случаев случайный уровень предела текучести стали);
 $\hat{S}(t)$ – обобщенная нагрузка на конструкцию (в большинстве случаев случайное напряжение (усилие) от внешних воздействий);
 $\hat{Y}(t)$ – характеристика резерва прочности или резерва несущей способности.

Тогда вероятность отказа конструкции (для нормального закона распределения анализируемых случайных величин) вычисляется по формуле:

$$P_f = P(g < 0) = \frac{1}{\hat{g}\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{g-\bar{g}}{\hat{g}}\right)^2} dg = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\beta} e^{-\frac{g^2}{2}} dg = \frac{1}{2} - \Phi(\beta), \quad (2)$$

где $\Phi(\beta)$ – интеграл вероятности Гаусса;
 \hat{g} – число стандартов, укладываемое в диапазоне от $g = 0$ до $g = \bar{g}$;
 β – характеристика безопасности;

$$\beta = \frac{\bar{g}}{\hat{g}} = \frac{R - Q}{\sqrt{R^2 + Q^2}}, \quad (3)$$

где $\bar{g} = \bar{R} - \bar{Q}$; $g = \sqrt{R^2 + Q^2}$; $-$, \cap – математическое ожидание, стандарт величины;
 R и Q – две взаимно независимые случайные величины ($\bar{R} = \hat{R}(t)$; $\bar{Q} = \hat{Q}(t)$).

Следовательно, необходимо достаточно представительная статистическая информация о характеристиках проката в виде прямоугольных гнutosварных труб, которые наиболее часто используются в рамно-консольных покрытиях. Эта необходимость объясняется обновлением нормативной документации, изменением технологии производства гнutosварных труб и увеличением числа производителей, что имеет место на современном этапе.

Для проведения эксперимента использовалась гнutosварная труба, поставляемая от двух металлургических заводов: «Луганский трубный завод» и «ПАО Днепропетровский металлургический завод им. Коминтерна». Использовались сечения: 60×40×3 (Ст.3пс, номер плавки 0024198/2, номера пакетов 511-514); 100×100×3 (Ст.1пс, номер пакета 541349, номер плавки 320317); 100×60×30 (Ст.3пс, номер пакета 540879, номер плавки 1222772); 120×60×3 (Ст.3пс, номер плавки 0025232/2, номера пакетов 228-231).

Испытания проводились на сертифицированной разрывной машине Р-20, использовалась шкала с ценой деления 0,08 кН. Было разорвано 60 образцов. Отбор и подготовка образцов выполнялись в соответствии с требованиями ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытания на растяжения». Ширина образца составила 20 мм, длина 300 мм, толщина 3 мм. Результаты статистической обработки данных эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Стохастически механические характеристики стали гнutosварных труб полученные опытным путем

№	Сечение	Сталь	Временное сопротивление R_b (МПа)			Условный предел текучести $R_{0,2}$ (МПа)			Модуль упругости E (10^5 МПа)		
			Мат. ожид.	Ст. откл.	Коэф. вар. (%)	Мат. ожид.	Ст. откл.	Коэф. вар. (%)	Мат. ожид.	Ст. откл.	Коэф. вар. (%)
1	60×40×3	Ст3пс	482,58	22,38	4,64	317,44	35,15	11,07	2,188	0,318	14,55
2	120×60×3	Ст3пс	443,67	31,07	7,00	332,21	22,07	6,65	2,063	0,159	7,71
3	100×100×3	Ст1пс	428,85	28,53	6,65	323,63	31,88	9,85	2,084	0,089	4,27
4	100×60×3	Ст3пс	418,54	25,84	6,17	379,03	29,46	7,77	2,129	0,167	7,85

Параллельно набрана статистика изменчивости геометрических характеристик данных четырех типоразмеров сечений (таблица 2).

Таблица 2 – Стохастические характеристики размеров сечений гнutosварных труб, полученные опытным путем

№	Сечение	Кол-во замеров	Толщина стенки (мм)			Высота сечения (мм)			Ширина сечения (мм)		
			Мат. ожид.	Ст. откл.	Коэф. вар. (%)	Мат. ожид.	Ст. откл.	Коэф. вар. (%)	Мат. ожид.	Ст. откл.	Коэф. вар. (%)
1	60×40×3	40	2,91	0,25	8,52	58,35	1,48	2,54	38,77	2,15	5,54
2	120×60×3	40	2,92	0,19	6,63	116,07	3,98	3,4	58,39	2,79	4,77
3	100×100×3	40	2,91	0,26	9,10	99,13	5,60	5,65	98,34	5,85	5,95
4	100×60×3	40	2,89	0,23	8,00	97,51	5,63	5,77	57,79	1,71	2,96

Анализируя полученные характеристики распределений геометрических размеров сечений металлопроката, следует отметить, что они вследствие минусовых допусков на прокат отклоняются в сторону уменьшения сечения по сравнению с номинальными размерами. А это приводит к уменьшению площади сечения, а следовательно, увеличению напряжения в элементе. Также видно, что все толщины стенок превысили максимально допустимое отклонение в 0,03 мм (1 % от номинального размера согласно ГОСТ 30245). Пределы изменчивости геометрических характеристик анализируемых сечений металлопроката приведены в таблице 3.

Выборка прочностных свойств сечения 1 и выборки геометрических замеров всех сечений были подвергнуты χ^2 -анализу, на предмет возможности аппроксимации распределения случайных величин «нормальным законом распределения», по критерию Пирсона (использовался Microsoft Excel 2010). Анализ показал, что распределение каждой из случайных величин отличается от нормального не более чем на 5 % (был задан уровень значимости 0,05). Следовательно, можно считать данные случайные величины подчиняющимися нормальному закону распределения.

Таблица 3 – Максимальные и минимальные значения характеристик сечения гнутосварных труб (ГОСТ 8645-68) полученные опытным путем, в процентном отношении к нормативным значениям

№	Сечение	A(%)		I _x (%)		I _y (%)		W _{max} (%)	
		min	max	min	max	min	max	min	max
1	60×40×3	74,5	118,1	61,9	123,8	56,9	134,5	67,4	121,3
2	120×60×3	68,9	116,5	51	128	53,5	137,6	59,4	122,8
3	100×100×3	69,9	135,8	53,7	173,1	53,7	173	84,5	211
4	100×60×3	67,8	124,7	52,5	156	56,2	138,7	60	138

Если для прочностных характеристик стали применить стандартную процедуру нормирования с обеспечением значений σ_b и $\sigma_{0,2}$ с вероятностью 99,8 %, получим значения, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Значения прочностных характеристик сечения гнутосварных труб (ГОСТ 8645-68), полученные опытным путем

№	Сечение	Сталь	Мат. ожид.		Стандарт		Числ. станд. (μ)	Эксп. знач. (МПа)		Значения по ДБН (МПа)	
			$\overline{\sigma_b}$	$\overline{\sigma_{0,2}}$	$\hat{\sigma}_b$	$\hat{\sigma}_{0,2}$		R_{yn}^n	R_{in}^n	R_{yn}	R_{in}
1	60×40×3	СтЗпс	482,58	317,44	22,38	35,15	3,15	206,72	411,50	225	370
2	120×60×3	СтЗпс	443,67	332,21	31,07	22,07	3,15	262,69	345,80	225	370
3	100×100×3	Ст1пс	428,85	323,63	28,53	31,88	3,15	223,21	338,98	–	–
4	100×60×3	СтЗпс	418,54	379,03	25,84	29,46	3,15	286,23	337,14	225	370

ВЫВОДЫ

1. Реальные прочностные характеристики металлопроката отличаются от приведенных в нормативной литературе (до 10 %), что может приводить к перенапряжению сечения и разрушению элемента ($R_{in} = 370$ (МПа) > $\overline{R}_b = 337,14$ (МПа); $R_{yn} = 225$ (МПа) > $\overline{R}_{0,2} = 206,72$ (МПа)). Данную проблему предлагается решать путем использования реальных стохастических значений прочностных характеристик в численных расчетах рамно-консольных конструкций с использованием прямых методов теории надежности.

2. При численном определении надежности (вероятности отказа) металлических конструкций на стадии проектирования следует учитывать реальные геометрические характеристики металлопроката. Так как они, как показывает анализ в данной статье, могут иметь отклонения, превышающие допустимые, и варьироваться в значительных пределах (до 64 %).

3. Анализ таких случайных величин, как геометрические характеристики исследованных сечений, а также прочностные свойства исследованного металлопроката двух украинских производителей («Луганский трубный завод» и «ПАО Днепропетровский металлургический завод им. Коминтерна»), подчиняются нормальному закону распределения, что доказано посредством проведения χ^2 -теста (Microsoft Excel 2010). Анализ показал, что распределение каждой из случайных величин отличается от нормального не более чем на 5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу [Текст]. – На заміну СНиП II-23-81* окрім розділів 15*–19, СНиП III-18-75 окрім розділів 3–8, СНиП 3.03.01-87 у частині, що стосується сталевих конструкцій окрім п.п. 4.78–4.134 ; чинні від 2011-12-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
2. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций [Текст] / Г. Шпете; Пер. с нем. О. О. Андреева. – М. : Стройиздат, 1998. – 288 с.
3. ДБН В 1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – Уведено вперше (зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4668-84) ; чинні з 2009-12-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
4. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжения [Текст]. – Взамен ГОСТ 1497-73 ; введ. 01.01.1986. – Москва : Стандартинформ, 2005. – 22 с.
5. ГОСТ 8645-68. Трубы стальные прямоугольные. Сортамент [Текст]. – Взамен ГОСТ 8645-57 ; введ. 01.01.1969. – Москва : Издательство стандартов, 1993. – 10 с.

Получено 22.03.2013

В. П. МУЦАНОВ, А. М. ОРЖЕХОВСЬКИЙ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ І ГЕОМЕТРИЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ГНУТОЗВАРНИХ ТРУБ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ
УКРАЇНСЬКИХ ВИРОБНИКІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті наведено результати експериментальних досліджень з визначення і порівняння реальних міцнісних і геометричних характеристик перерізів сталевих гнutoзварних труб прямокутного перерізу за ГОСТ 8645-68. Порівнюються характеристики металопрокату двох українських виробників між собою, а також з нормативними значеннями.

надійність, випробування, міцнісні та геометричні характеристики, статистичні характеристики, закон розподілу

VOLODYMYR MUSHCHANOV, ANANOLIY ORZHEKOVSKIY
EXPERIMENTAL STUDY OF THE STRENGTH AND GEOMETRIC
CHARACTERISTICS OF THE BENT-WELDED PIPES OF RECTANGULAR
CROSS-SECTION OF THE UKRAINIAN PRODUCERS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This paper presents the results of experimental studies on the identification and comparison of real strength and geometric characteristics of the cross-sections of bent-welded steel rectangular tube in accordance with GOST 8645-68. The characteristics of the two Ukrainian metal producers among themselves, as well as with normative values are compared.

reliability, testing, strength and geometric characteristics, statistical characteristics, distribution law