

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ
ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 27-28.05.2014)

УДК 69+624.014.2

**ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЕЛА
ТЕКУЧЕСТИ НА НАДЕЖНОСТЬ СТАЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

МАРТЫНОВ Ю.С., НАДОЛЬСКИЙ В.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Введение

Большинство параметров расчетных моделей имеют неопределенные значения в силу погрешностей измерений, изменчивости физических явлений, недостоверных знаний о физической сущности процессов и т.д. Случайные параметры расчетных моделей и погрешности эти моделей принято называть базисными переменными. Как правило, условно выделяют две группы базисных переменных: одни влияют на модели сопротивления, а другие – на модели эффектов воздействий (усилия, перемещения и др.). К параметрам модели сопротивления стального элемента относятся прочностные характеристики стали (наиболее часто используемая характеристика - предел текучести), деформационные характеристики стали, геометрические характеристики сечения и элемента, погрешности моделей сопротивления и др.

При наличии вероятностных моделей базисных переменных X методами теории надежности можно определить вероятность отказа за базовый период времени. Точность вероятностной модели базис-

ной переменной оказывает существенное влияние на результаты расчетов. Поэтому исследования вероятностной природы базисных переменных являются актуальными, особенно по уточнению (корректировке) фактических законов распределения базисных переменных на основе экспериментальных данных.

В статье рассмотрена проблема вероятностного моделирования предела текучести стали для условий Республики Беларусь. Обобщены статистические параметры для наиболее часто используемой характеристики стали – предела текучести. Выполнен анализ частного коэффициента для модели сопротивления с учетом национальных особенностей проектирования, изготовления и монтажа стальных конструкций на основе современных исследований статистических параметров предела текучести стали.

1. Общие рекомендации по вероятностному моделированию

Для вероятностного описания базисной переменной необходимо знать закон распределения и статистические параметры выбранного закона распределения. Проблема *выбора закона распределения* случайной величины требует подробного и тщательного рассмотрения. Как известно закон распределения устанавливается исходя из экспериментальных данных. Однако эти данные часто недоступны и ограничены, что не позволяет получить достоверные результаты. Поэтому при выборе закона распределения дополнительно используют аналитические закономерности. В частности, сформулированы общие рекомендации по назначению законов распределения. Как правило, для характеристик свойств материалов, сопротивлений элементов конструкции, погрешностей моделей рекомендовано нормальное, логарифмически нормальное распределение или распределение Вейбулла.

Статистические параметры по своей природе переменны, что требует систематических и целенаправленных исследований по их уточнению.

2. Статистические параметры предела текучести

К основным прочностным и деформационным характеристикам стали относятся предел текучести, предел прочности при растяжении (временное сопротивление), модуль упругости, коэффициент Пуассона и деформации, соответствующие пределу текучести и временному сопротивлению.

Большинство авторов использует нормальный закон распределения для описания свойств стали, при этом опираясь на следующие доводы: «Прочностные характеристики стали есть результат суммарного действия независимых (пусть даже слабо зависимых) случайных величин, ни одна из которых не оказывает преобладающего влияния, что согласно предельным теоремам теории вероятности позволяет считать распределения предела текучести и временного сопротивления стального проката сколь угодно близким к нормальному закону» [7, с. 77]. Но следует обратить внимание, что данные предпосылки справедливы для первоначальной генеральной совокупности. Как правило, имеет место отклонение от нормального закона из-за процедур контроля качества стали: «Большинство гистограмм имеет положительный коэффициент асимметрии, что является следствием действия системы контроля качества, отбраковывающего низкосортную сталь» [10, с.242].

Источниками изменчивости прочностных и деформационных свойств стали являются вариации химического состава, различия технологий изготовления, методов контроля качества, процедур испытаний, объем выборок и др. «Большое разнообразие оборудования, сырья, технологий, применяемых в металлургии, приводят к неодинаковым распределениям механических свойств в одинаковом прокате, но изготовленных на различных заводах. Вместе с тем прослеживаются общие тенденции ... » [7, с. 80]. Например, «Коэффициенты вариации предела текучести, по данным различных источников, имеют следующие границы: ... одинаковые профили с разных заводов $v = 0.05-0.08$; различные профили с разных заводов $v = 0.06-0.12$ » [10, с.242]. В сложившейся ситуации для Республики Беларусь представляется целесообразным оценить параметры сталей исходя из наиболее общих и разнообразных условий поставки проката.

Статистические параметры прочностных характеристик сталей приводятся в исследованиях 50-70-х годов [5,8,9]. За прошедшие 30-40 лет эти данные по объективным причинам устарели и требуют уточнения. В дополнение, следует привести слова И.И. Ведякова о современном уровне нормирования и производства стали на территории Российской Федерации: «Прежде всего назначаются стали по ГОСТ 27772-88. Эти стали были фактически разработаны в середине шестидесятых годов для условий тогдашней металлур-

гии. Естественно, к настоящему времени они морально устарели (применяются 1-2 из стандартных сталей), тем более что современная металлургическая промышленность, в том числе отечественная, бурно развиваются и прогрессирует...» [6, с.63].

Современные исследования статистических параметров предела текучести сталей, произведенных на территории Европейского союза, представлены в работах [1-4]. Обобщенные результаты этих исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Статистические параметры предела текучести

Марка стали	n	t , мм	μ , МПа	σ , МПа	V	$\mu f_{y,EN3}$	Источник
S235, $f_{y,EN3} = 235$ МПа	687	≤ 16	316.4	24.00	0.08	1.35	[1]
	5493	≤ 20	284.5	21.50	0.08	1.21	[3]
	562	≤ 10	297.3	16.80	0.06	1.27	[3]
	1123	20	289.0	20.10	0.07	1.23	[2]
	12	≤ 16	336.4	73.13	0.22	1.43	[4]
	26	≤ 10	327.5	28.16	0.09	1.39	[4]
S275, $f_{y,EN3} = 275$ МПа	1951	≤ 16	327.1	18.63	0.06	1.19	[1]
	2342	≤ 40	306.3	15.63	0.05	1.11	[1]
	40	≤ 16	369.7	35.12	0.09	1.34	[4]
S355, $f_{y,EN3} = 355$ МПа	685	≤ 16	416.3	18.71	0.04	1.17	[1]
	1129	≤ 40	395.7	15.11	0.04	1.11	[1]
	48	≤ 16	463.6	42.30	0.09	1.31	[4]
	17	≤ 40	407.1	18.71	0.05	1.15	[4]
	1089	≤ 20	393.5	25.40	0.07	1.11	[3]
	19	≤ 10	452.2	12.66	0.03	1.27	[4]

В Республику Беларусь стальной прокат поставляется с различных заводов, поэтому для оценки моделей сопротивления статистические параметры распределения значений предела текучести следует принимать в диапазоне равновозможных значений. Анализ показывает, что среднее значение отношения фактического значения предела текучести к характеристическому составляет 1.10-1.20, а коэффициент вариации 0.05-0.08.

3. Анализ частного коэффициента для модели сопротивления стального элемента

Расчетное значение сопротивления, выраженное непосредственно через его характеристическое значение R_k , можно определить с использованием интегрального частного коэффициента γ_M :

$$R_d = R_k / \gamma_M \quad (1)$$

Интегральный частный коэффициент γ_M должен учитывать неблагоприятные отклонения свойств материалов, геометрических размеров, неопределенности расчетных моделей сопротивления и т.д. Данный коэффициент можно представить как произведение ряда частных коэффициентов:

$$\gamma_M = \gamma_m \cdot \gamma_{Rd1} \cdot \gamma_{Rd2} \quad (2)$$

где γ_m – частный коэффициент, учитывающий неблагоприятные отклонения свойств материалов от их характеристических значений; γ_{Rd1} – частный коэффициент, учитывающий неопределенности расчетных моделей сопротивления; γ_{Rd2} – частный коэффициент, учитывающий отклонения геометрических параметров.

В общем случае частный коэффициент должен быть определен калибровкой исходя из условия обеспечения заданной надежности конструкции. Упрощенно частный коэффициент для свойства материала (предела текучести) можно определить согласно теории надежности 1-го порядка (FORM):

$$1 / \gamma_m = b_{fy} \cdot \exp(-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_{fy}) \quad (3)$$

где b_{fy} – среднее значение отношения фактического (полученного посредством испытаний) значения свойства материала (например, предел текучести, предел прочности и т.д.) к его характеристическому значению; V_R – коэффициент вариации свойств материала; α_R – значения коэффициентов чувствительности в соответствии согласно методом теории надежности 1-го порядка (FORM), $\alpha_R = 0.8$; β – целевое значение индекса надежности, $\beta = 3.8$.

Поскольку значения параметров b_{fy} , V_{fy} изменяются в диапазоне равновероятных значений, то авторами рассмотрены возможные комбинации наиболее благоприятных ($b_{fy} = 1.20$, $V_{fy} = 0.05$) и неблагоприятных ($b_{fy} = 1.10$, $V_{fy} = 0.08$) значений. Значения интегрального частного коэффициента γ_m для модели сопротивления составляют:

- для неблагоприятных значения параметров $\gamma_m = 1.16$;
- для благоприятных значения параметров $\gamma_m = 0.97$.

Заключение

Выполненный анализ вероятностных моделей предела текучести стали, позволяет сделать следующие выводы:

1. В качестве первого приближения с достаточной доверительной вероятностью можно рекомендовать следующие параметры для предела текучести: среднее значение отношения фактического значения предела текучести к характеристическому – 1.10...1.20, коэффициент вариации 0.05...0.08;

2. При принятых выше параметрах значения частного коэффициента, учитывающего неблагоприятные отклонения предела текучести от его характеристического значения, изменяются в диапазоне от 1.01 до 1.24. Разброс значений, обусловленный возможными комбинациями благоприятных и неблагоприятных значений предела текучести, свидетельствует о необходимости уточнения статических параметров базисных переменных, входящих в модели сопротивления (главным образом предела текучести).

ЛИТЕРАТУРА

1. Byfield, M.P. Steel design and reliability using Eurocode 3. PhD thesis, University of Nottingham. 1996
2. Kala, Z. D. Comparison of Material Characteristics of Austrian and Czech Structural Steels /Z.Kala, J.Melcher, D.Novák // International Journal of Materials and Structural Reliability. –2005. – № 1(3). – P. 43-50.
3. Melcher, J. Design characteristics of structural steels based on statistical analysis of metallurgical products / J.Melcher, Z.Kala, M.Holicky, M.Fajkus, L.Rozlivka// Journal of Constructional Steel Research. –2004. Vol. 60, № 3–5,– P.795-808.
4. Simões da Silva, L. Statistical evaluation of the lateral–torsional buckling resistance of steel I-beams, Part 2: Variability of steel properties/ [L. Simões da Silva](#), [C. Rebelo](#), [D. Nethercot](#), [L. Marques](#), [R. Simões](#), [P.M.M. Vila Real](#) // Journal of Constructional Steel Research. – 2009. – №.4(65). –P.832-849.
5. Балдин, В.А. Обеспеченность нормативных и расчетных сопротивлений малоуглеродистой стали для строительных

металлоконструкций/ В.А. Балдин, М.Р. Урицкий // Пром. стр-во. – 1978. – №6. –С.19-21.

6. Ведяков, И.И. Современные принципы нормирования качества материалов и стальных конструкций/ Ведяков И.И. // Строительная механика и расчет сооружений. – 2007. – №2. – С. 62-64.

7. Металлические конструкции. В 3т. Т.1. Общая часть. (Справочник проектировщика) / Под общ. Ред. Заслуж. Строителя РФ, лауреата госуд. премии СССР В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектсталь-конструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: изд-во АСВ, 1998. –576 с.

8. Уваров, Б.Ю. Статистическое исследование свойств и обоснование расчетных сопротивлений низколегированных сталей для строительных металлических конструкций: Автореф. дис... канд. техн. наук/ МИСИ.-М., 1970. – 16с.

9. Урицкий, М.Р. Исследование обеспеченности нормативных и расчетных сопротивлений малоуглеродистой стали для строительных конструкций: Автореф. дис... канд. техн. наук/ ЦНИИСК- М.,1975. - 19с.

10. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций / Г. Шпете; пер. с нем. О.О. Андреева. –Москва : Стройиздат, 1994. – 288 с. –Перевод. изд.: Gerhard Spaethe. – Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen.