

## О контроле прочности металла стальных конструкций

*Н.Л. Вернези, А.А. Веремеенко, Д.С. Вальдман*

*Ростовский государственный строительный университет*

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы, связанные с оценкой механических характеристик стальных элементов конструкций трибун стадиона "Торпедо" в Таганроге. Приведен анализ полученных неразрушающим методом прочностных характеристик металла колонн, балок, верхнего и нижнего поясов ферм и раскосов. Показаны результаты обработки значений механических характеристик на соответствие наиболее общему закону распределения Вейбулла. Для значений предела текучести и предела прочности получены параметры масштаба и формы, а также сдвига, который определяет критическое нижнее возможное значение механической характеристики теоретического распределения. Дан анализ принадлежности металла обследованных элементов к соответствующему классу прочности строительной стали с заключением о том, что весь металл обследованных элементов имеет класс прочности не ниже С 255, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым проектом к прочности металла.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, механические характеристики, прочность, диагностика, априорная информация, испытания металла.

Результатом работ по обследованию состояния металла стальных конструкций должны стать значения механических характеристик основных элементов, включающих предел текучести, предел прочности и относительное удлинение.

Согласно ГОСТ 2777-82 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия» основной расчетной характеристикой стали является расчетное сопротивление, определяемое делением установленного нормативного сопротивления на коэффициент надежности по материалу, равный 1,025. Расчетные характеристики по пределу текучести и пределу прочности определяют соответствующий класс прочности [1]. Критичным же при обследовании считается минимальное значение предела текучести, зарегистрированное при выборочных измерениях. В подавляющем большинстве случаев вырезать из элемента конструкции металл образцов для разрушающих испытаний либо невозможно технически, либо инструктивно запрещено (СП 13-102-2003.

Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений). Остается опираться на применение неразрушающих методов.

Разработанная в РГСУ система неразрушающего контроля «Прочность» [3-8] сегодня имеет широкое использование при необходимости оценки механических характеристик металла как при возведении новых строительных конструкций, так и при необходимости работ по реконструкции.

Так при обследовании трибун стадиона «Торпедо» в Таганроге были определены механические характеристики металла элементов строительных конструкций, основные из которых представлены в таблице №1.

Таблица №1

Технические характеристики металла элементов строительных конструкций стадиона «Торпедо»

№№/пп	Элемент конструкции	Количество обследованных элементов	Общее число измерений на элементе
1	Колонна	22	293
2	Балка	19	180
3	Верхний пояс ферм	8	68
4	Нижний пояс ферм	6	60
5	Раскос	9	63

При проведении обследования в каждой точке конкретного элемента шлифовальной машиной зачищалась поверхность от краски и коррозии до чистого металла и производилось от 7 до 10 измерений с единовременной регистрацией значений предела текучести, предела прочности и относительного удлинения, хотя несколько позднее было определено[9], что количество измерений можно в каждой точке сократить в 2-3 раза без потери точности результатов. Данные, полученные в разных точках одного элемента объединялись в один массив и обрабатывались на соответствие трехпараметрическому закону распределения Вейбулла[10,11]. Известно, что механические характеристики наилучшим образом согласуются именно с этим законом, поскольку физически отражает их существо и формально содержит два чрезвычайно важных параметра: формы «В», указывающий на плотность распределения измеряемой величины, и сдвига «С», точно определяющий минимальное значение, которое может принять характеристика. Аппроксимация производилась двумя методами: максимального правдоподобия и моментов. Результаты аппроксимации сведены в таблице №2.

Таблица №2

Результаты аппроксимации

№№/пп	Элемент конструкции	Параметры для предела текучести			Параметры для предела прочности			Метод аппроксимации
		А	В	С	А	В	С	
1	Колонна	28,57	2,11	244,09	26.33	2.05	387.61	Моментов

№№/пп	Элемент конструкции	Параметры для предела текучести			Параметры для предела прочности			Метод аппроксимации
		А	В	С	А	В	С	
2	Балка	44,8	1,71	246,39	41,72	1,73	389,45	Моментов
3	Верхний пояс ферм	36,88	2,32	227,37	32,27	2,58	371,43	Моментов
4	Нижний пояс ферм	26,37	2,32	230,38	22,55	2,37	375,51	Моментов
5	Раскос*	-	-	-	6,05	1,41	384,81	Моментов

\*Измеренные значения предела текучести металла раскосов имели равномерное распределение при зафиксированном минимальном значении 243 МПа и среднем значении 253,5 МПа.

Анализ таблицы №2 позволяет заключить следующее. Весь металл обследованных элементов конструкций принадлежит к одному классу прочности С255. Стали этого класса могут быть изготовлены из марок Встсп5 и Вст3Гпс5, т.е. стали группы «В», третьего уровня прочности, поставляемой по механическим характеристикам и химическому составу.

Это позволяет считать массив данных о механических характеристиках исследованных элементов однородным, принадлежащим к одной генеральной совокупности, которую правомерно объединить и проанализировать.

У металла всех элементов, кроме раскосов, параметр формы находится около значения 2, что указывает на достаточно плотное распределение значений, а также на полное соответствие эмпирических распределений распределению Вейбулла. Среднее значение параметров сдвига по пределу текучести 238 МПа, среднее значение параметра сдвига по пределу прочности 382 МПа.

Проектной документацией класс прочности обследованных элементов не должен был быть ниже, чем С245, что и подтвердилось в результате проведенных работ.

### Литература

1. Горев В.В., Уваров Б.Ю., Филиппов В.В. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы стальных конструкций: Учеб. Пособие для строительных вузов и др.; Под ред. В.В. Горева – М.: Высш. шк., 1997. – 527с.
2. Belen'kii D.M., Beskopyl'nyi A.N., Vernezi N.L., ChamraevL.G..Determination of the strength of butt welded joints // Welding International. 1997. №11. pp. 643-645.
3. Belen'kii D.M., Vernezi N.L., CherpakovA.V.. Changes in the mechanical properties of butt welded joints in elastoplastic deformation // Welding International. 2004. №18. pp. 213-215.
4. Вернези Н.Л. Применение системы «Прочность» при диагностике металлических конструкций// Изв. Ростовского государственного строительного университета. 2003. №7. С. 56-60.
5. Вернези Н.Л., Веремеенко А.А., ВеремеенкоЕ.Г., ЛобановИ.В., БелоусовИ.В., СтарыхВ.В.О прочностных возможностях металла стальных конструкций // Изв. Ростовского государственного строительного университета. 2013. №17. С. 13-18.

6. Беленький Д.М., Бескопыльный А.Н., Вернези Н.Л. Опыт диагностики металлических конструкций // Изв. вузов. Строительство. 2003. №1. С.99-102.
7. Вернези Н.Л. Метод оценки прочности металла неразрушающим способом с использованием априорной информации // Инженерный вестник Дона, 2013, № 3 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1898](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1898).
8. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Мир, 1975. – 648 с.
9. Касьянов В.Е., Котесов А.А., Котесова А.А. Аналитическое определение параметров закона Вейбулла для генеральной совокупности конечного объема по выборочным данным прочности стали// Инженерный вестник Дона, 2012, №2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/804](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/804).
10. W.J. De Coursey / Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft® Excel. – 2003 – 400 p. – Elsevier Science (USA).
11. Касьянов В.Е., Щулькин Л.П., Котесова А.А., Котова С.В / Алгоритм определения параметров прочности, нагруженности и ресурса с помощью аналитического перехода от выборочных данных к данным совокупности // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 2). URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236).

### References

1. Gorev V.V., Uvarov B.Yu., Filippov V.V. Metal constructions. In three volumes. Volume 1. Elements of steel structures: Textbook. Allowance for building schools, etc. [Metallicheskie konstruksii. V trekhtomakh. Tom 1. Elementy stal'nykh konstruksiy: Ucheb. Posobie dlya stroitel'nykh vuzov i dr]. Ed. V.V.Gorev. M.: Higher. HQ, 1997. 527p.
2. Belen'kii D.M., Beskopyl'nyi A.N., Vernezi N.L., Chamraev L.G. Determination of the strength of butt welded joints. Welding International. 1997. №11. pp. 643-645.

3. Belen'kii D.M., Vernezi N.L., Cherpakov A.V. Changes in the mechanical properties of butt welded joints in elastoplastic deformation // Welding International. 2004. №18. pp. 213-215.
4. Vernezi N.L. Primeneniesistemy «Prochnost'» pri diagnostike metallicheskih konstrukcij. Izv. Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta. 2003. №7. Pp. 56-60.
5. Vernezi N.L., Veremeenko A.A., Veremeenko E.G., Lobanov I.V., Belousov I.V., Staryh V.V. O prochnostnyh vozmozhnostyah metallastal'nyh konstrukcij. Izv. Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta. 2013. №17. Pp. 13-18.
6. Belen'kij D.M., Beskopyl'nyj A.N., Vernezi N.L. Opyt diagnostiki metallicheskih konstrukcij. Izv. vuzov. Stroitel'stvo. 2003. №1. Pp.99-102.
7. Vernezi N.L. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. – URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/804](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/804)
8. Kramer G. Matematicheskie metody statistiki [Mathematical methods of statistics]. M.: Mir, 1975. 648p.
9. Kas'janov V.E., Kotesov A.A., Kotesova A.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/804](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/804)
10. W.J. De Coursey. Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft® Excel. 2003. 400 r. Elsevier Science (USA).
11. Kas'janov V.E., Shhul'kin L.P., Kotesova A.A., Kotova S.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 (part 2). URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1236)