

УДК 624.04:303.447.3

Бузало Нина Александровна

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет
(Новочеркасский Политехнический Институт) имени Матвея Ивановича Платова»

Россия, Новочеркасск¹

Зав. кафедрой Строительные конструкции, строительная и прикладная механика

Доцент, кандидат технических наук

E-Mail: buzalo_n@mail.ru

Гонтаренко Иван Владимирович

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет
(Новочеркасский Политехнический Институт) имени Матвея Ивановича Платова»

Россия, Новочеркасск

Аспирант, магистр техники и технологии по направлению «Строительство»

E-Mail: Gontarenkoivan@mail.ru

Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния внецентренно сжатых стоек с повреждениями

Аннотация: В статье представлены результаты экспериментального исследования работы внецентренно-сжатых стоек из прокатных двутавров, нагруженных с одноосным эксцентриситетом. Описана методика определения остаточной несущей способности поврежденных стоек в лабораторных условиях с применением ПК. При проведении экспериментальной части работы использована новая информационно-измерительная система определения деформаций с помощью тензометрических датчиков. Имитированы наиболее часто встречающиеся повреждения стоек, эксплуатируемых на производстве (коррозия, механические повреждения). При испытаниях производились замеры:

- перемещений центра изгиба в среднем сечении стойки, для чего устанавливались индикаторы часового типа;
- деформаций в среднем сечении образца с использованием тензорезисторов и модуля;
- продольной нагрузки на стойку (фиксирувалась по показаниям динамометра).

В процессе испытания проводилось визуальное наблюдение за работой сварных соединений, их состоянием и состоянием конструкции в целом. Выполнено сравнение результатов конечно-элементного моделирования и экспериментальных данных. Стойки испытывались в упругой, упругопластической стадии и затем доводились до исчерпания несущей способности. Испытания поврежденных стоек на внецентренное сжатие проводились статической нагрузкой на специально сконструированной установке на базе 10-тонной рычажно-маятниковой машины системы профессора А.П. Коробова.

Ключевые слова: Предельные состояния конструкций; дефекты; повреждения; локальный погиб; упругопластическая стадия; экспериментальное определение напряженного состояния элемента; тензометрия; концентрация напряжений; фибровые деформации.

Идентификационный номер статьи в журнале 80TVN114

¹ 346428, Ростовская обл., г.Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

Nina Buzalo

South Russian State Technical University (Novocheerkassk Polytechnic Institute)
named M.I.Platova
Russia, Novocheerkassk
E-Mail: buzalo_n@mail.ru

Ivan Gontarenko

South Russian State Technical University (Novocheerkassk Polytechnic Institute)
named M.I.Platova
Russia, Novocheerkassk
E-Mail: Gontarenkoivan@mail.ru

Experimental investigation the stress-deformed state eccentrically compressed racks with damages

Abstract: The pilot research of work of the non-central squeezed racks from the rolling double-T shape loaded with monoaxial eccentricity is conducted. The determination technique of residual bearing ability of the damaged racks in the laboratory using PC is described. When carrying out experimental part of the work the new information and measuring system for determining deformations by means of strain- gauge sensors is used. The most common damaged racks operated on production (corrosion, mechanical damages) are imitated. During tests measurements were made:

- movements of the center of a bend on the average rack section for what indicators of hour type were installed;
- deformations on the average sample section with use of resistance strain gages and the module;
- longitudinal load of a rack (it was fixed according to dynamometer indications);

In the process of testing the visual observation over work of welded connections, their state and a condition of a construction in a whole was made. Comparison of final and element modeling results and experimental facts is executed. Racks were tested in an elastic, elastoplastic stage and then were led up before exhaustion of bearing ability. Tests of the damaged racks on non-central compression were carried out by static loading on specially designed installation on the basis of the 10-ton lever- pendulum machine using the system of Professor A.P. Korobov.

Keywords: limit states constructions; defects; damaged; lost local; elastic-plastic stage; the experimental determination of the stress state of the element; tensometry; stress concentration; fiber deformation.

Identification number of article 80TVN114

Экспериментальное исследование работы внецентренно сжатых стоек из прокатных двутавров, нагруженных с одноосным эксцентриситетом, проведено для решения следующих задач:

1. определить опытным путем несущую способность внецентренно-сжатых стоек, получивших повреждения, при одноосном эксцентриситете приложения сжимающего усилия;
2. исследовать силовое сопротивление стоек в процессе их нагружения и сравнить полученные значения напряжений и деформаций со значениями, полученными расчетным путем.

В качестве экспериментальных образцов использованы прокатные двутавры №10 по ГОСТ 8239-89. По торцам каждой стойки приваривались стальные пластины размером 150×200×16 мм с целью создания условий стесненной депланации концевых сечений. Торцы элементов фрезеровались. Стойки после сварки отжигу не подвергались. Сварка осуществлялась ручной электродуговой сваркой электродами Э-46.

В экспериментальных образцах искусственно были созданы дефекты, имитирующие наиболее характерные повреждения, получаемые стальными стойками при эксплуатации несущих конструкций производственных зданий.

В стойках №1(4шт) (Рис.1.а) вырез полки наносился путем выпиливания полки электроинструментом с циркулирующим диском. В стойках №2 (4шт) (Рис.1.б), уменьшение толщины полок выполнялось на фрезе на 1 мм с каждой стороны. В стойках №3(4шт.), (Рис.1.в) вырез стенки выполнялся электроинструментом с циркулирующим диском. Локальный погиб наносился механическим воздействием (кувалдой). В стойках №4 (4шт) (Рис.1.г) уменьшение толщины полок выполнялось на фрезе с каждой стороны полки на 4мм.

Среднее значение временного сопротивления (предела прочности) стали 453,4 МПа, а среднее значение предела текучести – 280 МПа.

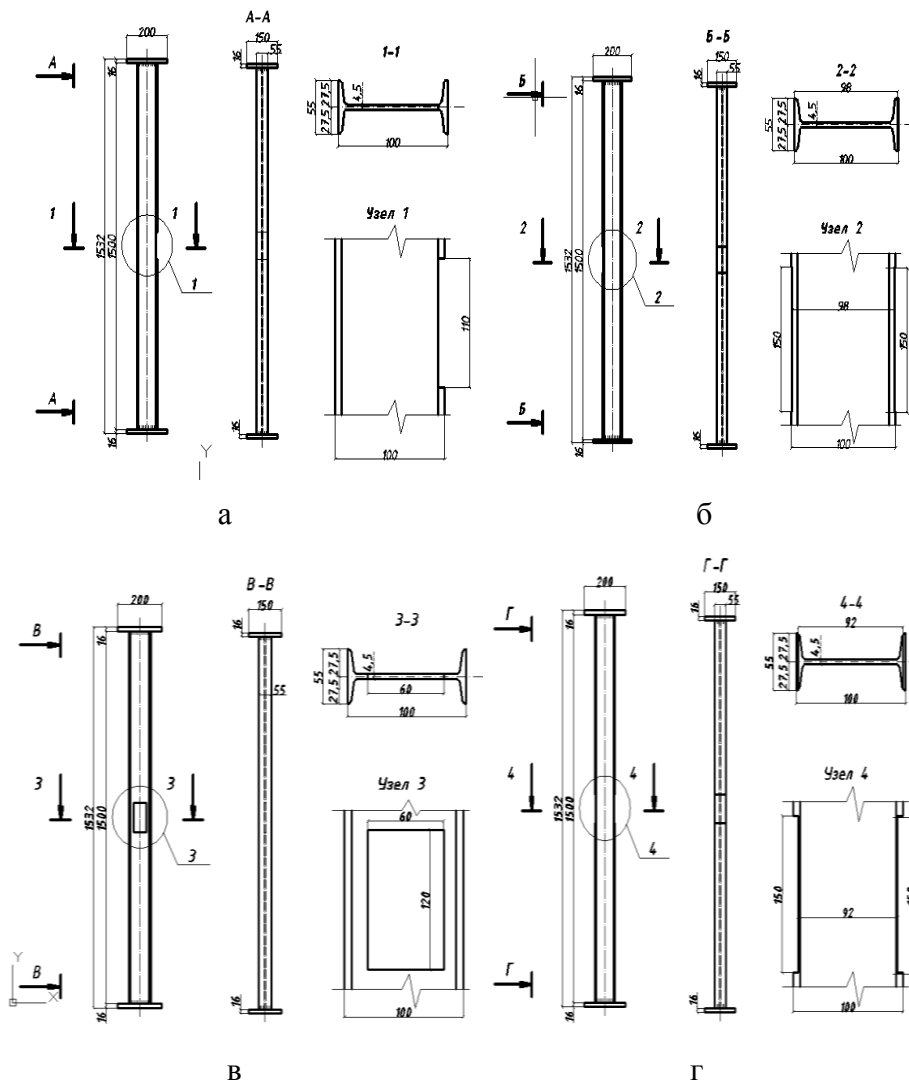


Рис. 1. Составлено автором. Геометрические размеры.

а) стоек типа №1; б) стоек типа №2; в) стоек типа №3; г) стоек типа №4

Схема приложения нагрузки и опорных закреплений стоек представлены на рис. 2. В точке *A* внецентренно приложена сосредоточенная нагрузка *F*, а в точке *B* наложена связь, препятствующая вертикальным перемещениям стойки. В четырех точках каждой торцевой пластины расположены связи, препятствующие горизонтальным перемещениям, но не препятствующие вертикальным перемещениям стойки.

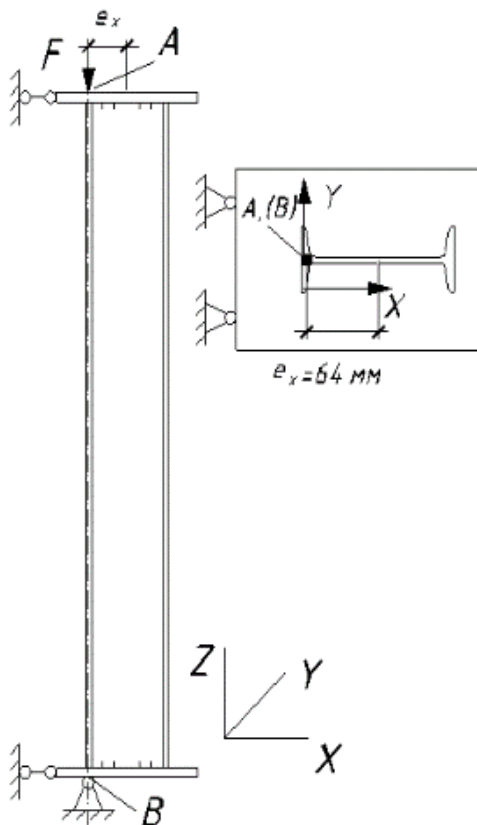


Рис. 2. Схема приложения нагрузки и опорных закреплений стойки при одноосном эксцентриситете
 Составлено автором.

Таблица 1

Форма и геометрические характеристики экспериментальных образцов

Марка стойки	Длина L, мм	Высота сечения H, мм	Площадь сечения, см ²		Ослабление сечения, %
			A	A ^{деф}	
С-1	1532	100	12	8,04	33
С-2	1532	100	12	10,9	10
С-3	1532	100	12	9,3	22
С-4	1532	100	12	8,15	32

Составлено автором

Испытания поврежденных стоек на внецентренное сжатие проводились статической нагрузкой на специально сконструированной установке на базе 10-тонной рычажно-маятниковой машины системы профессора А.П. Коробова. Универсальная машина А.П. Коробова состоит из привода, нагружающего устройства с исполнительным механизмом и силоизмерительного устройства. Нагружающее устройство машины позволяет прикладывать нагрузку с малой скоростью, фиксировать и, при необходимости, стабилизировать ее значение на постоянном уровне. Давление от машины передается на шарик (через специально изготовленные пуансоны со съемными обоймами для шариков) и далее – непосредственно на плитку, установленную с целью стеснения деформации. С целью предотвращения поворота

опорных сечений вокруг продольной оси стойки Z устанавливались упорные винты, имеющие шарнирные сочленения в вертикальной плоскости и не препятствующие повороту торцовых сечений относительно главных осей x и y . Верхнее опорное приспособление оставалось в процессе всех испытаний неподвижным, а нижнее перемещалось в ходе нагружения. Регистрация нагрузки производилась с помощью динамометра Ивановского завода ЗИП.

Эксцентриситеты приложения сжимающей силы к стойкам $e_x=64$ мм

Стойки испытывались в упругой, упругопластической стадии и затем доводились до исчерпания несущей способности. В упругой области каждой стойке задавалось три уровня нагружения. После первого и второго циклов испытаний в упругой области стойки полностью разгружались. После третьего цикла нагрузка увеличивалась, и испытания продолжались в упругопластической области.

Далее следовало генеральное испытание стойки на внецентренное сжатие в следующей последовательности.

1. снятие отсчетов по всем измерительным приборам при нулевой нагрузке;
2. нагружение стойки до заданной расчетной ступени нагружения;
3. выдержка стойки под нагрузкой каждой ступени в упругой области до 1 минуты и снятие отсчетов по всем приборам;
4. нагружение стойки в упругопластической стадии до полной стабилизации нагрузки на заданном уровне, выдержка пять минут и снятие отсчетов по всем приборам. Пункт 4 повторялся на каждой расчетной ступени нагружения, до потери стойкой несущей способности. За максимальную принималась нагрузка, соответствующая наибольшему показанию динамометра.

В процессе испытания нагружение осуществлялось ступенями: от условного нуля, за который была принята нагрузка 1 кН до потери несущей способности. По мере приближения к критической нагрузке величина ступеней уменьшалась. При испытаниях производились замеры:

- перемещений центра изгиба (x) в направлениях оси X в среднем сечении стойки, для чего устанавливались индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм;
- деформаций в среднем сечении образца с использованием тензорезисторов с базой 10 мм и модуля АЦП-ЦАП 16/16 «SigmaUSB»;
- продольной нагрузки на стойку (фиксирувалась по показаниям динамометра).

В процессе испытания проводилось визуальное наблюдение за работой сварных соединений, их состоянием и состоянием конструкции в целом.

В качестве тензометрической станции использовался модуль АЦП-ЦАП 16/16 «SigmaUSB» ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы-ЗЭТ» (г. Москва). Относительные деформации образцов в процессе нагружения измерялись тензометрическими резисторами КФ5П1-10-400-А-12. Программное обеспечение ZETLab поставляется в комплекте с модулем «SigmaUSB» и позволяет приступить к процессу измерения и управления сразу после подключения к персональному компьютеру. Для регистрации изменений показаний тензорезисторов использовалась программа «Тензометр».

Процесс изучения напряженно-деформированного состояния в упругой и затем в упругопластической стадиях проводился при изучении главных параметров, характеризующих работу стержней в интервале от малых и до предельных нагрузок. Опытные

величины деформаций (напряжений), перемещений x среднего сечения сопоставлялись с расчетными значениями.

Замерялись перемещения x во всех 4-х сериях испытаний. Относительные фибровые деформации для стоек №1 в среднем сечении образца по краям полки - 2 шт (датчики №3,4) и в стенке, в районе обреза полки с максимальной концентрацией напряжений (датчики №1,2) (Рис.3.а). Относительные фибровые деформации для стоек №2,4 (Рис. 3б, 3г) в среднем сечении образца по краям полок - 4 шт (датчики 1-4 соответственно). Относительные фибровые деформации для стоек №3 (Рис.3.в) в среднем сечении образца по краям полки в растянутой зоне - 2 шт (датчики 1,2).

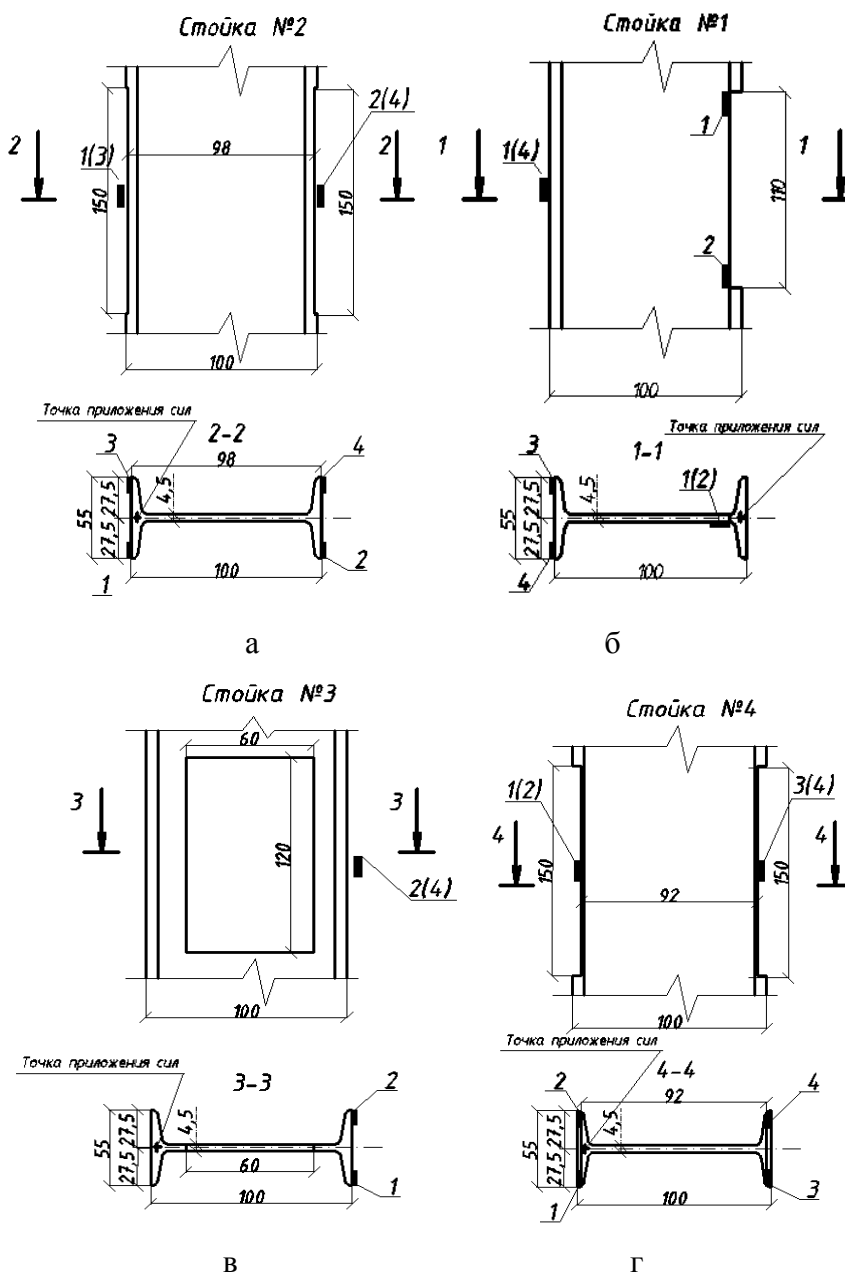


Рис.3. Составлено автором. Места крепления тензодатчиков.
 а) стойки типа №1; б) стойки типа №2; в) стойки типа №3; г) стойки типа №4

Для последовательного изучения влияния каждого из факторов исследования проводились по следующему плану: 1 этап – изучение напряженно-деформированного

состояния в упругой стадии; 2 этап – исследования работы стоек в упругопластическом состоянии, позволяющие оценить влияние пластических деформаций на величину перемещений.

По относительным удлинениям волокон, определенным на основании показаний тензорезисторов, вычислялись нормальные напряжения. Результатом опытов являются качественные и количественные связи между параметрами состояния системы во всем интервале нагрузок, включая предельные. По данным прямых измерений для стоек, сжатых продольными силами с одноосным эксцентриситетом построены графики перемещений $x = f(N)$ (Рис. 4) и графики напряжений $\sigma_z = f(N)$ (рис 5).

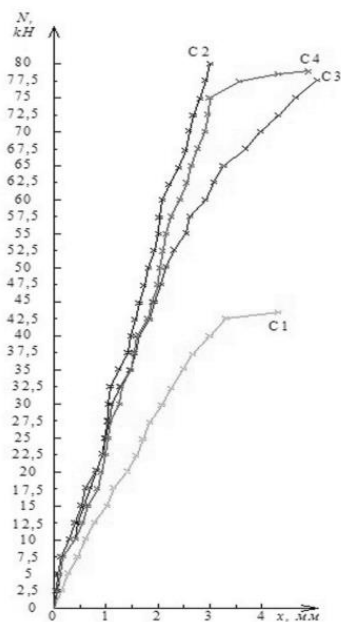


Рис. 4. Составлено автором. Графики усредненных перемещений стоек $x = f(N)$

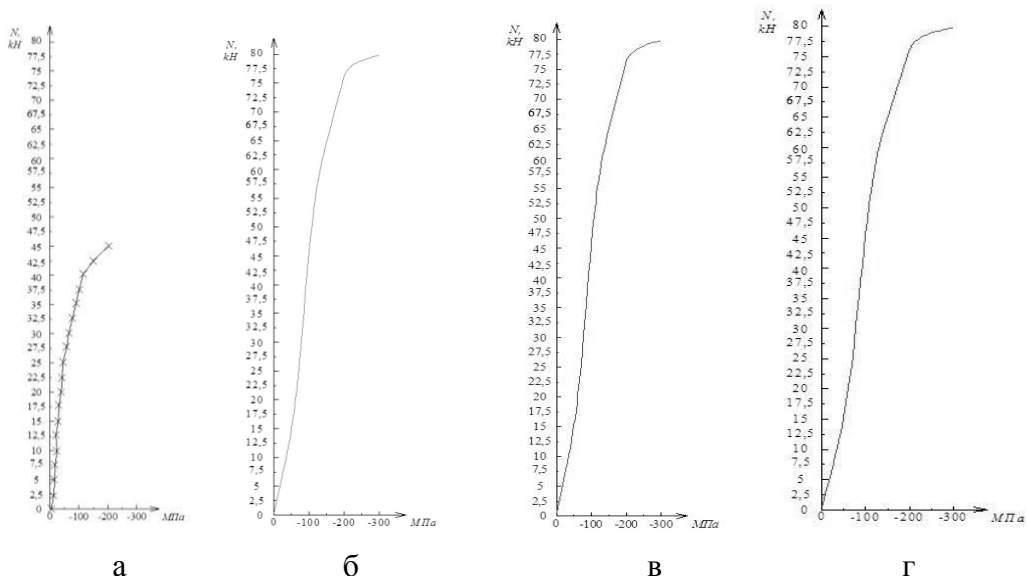


Рис. 5. График усредненных напряжений при одноосном сжатии $\sigma_z = f(N)$; усредненные значения тензометров.
 а) стойки типа №1, б) стойки типа №2, в) стойки типа №3, г) стойка типа №4.

Составлено автором.

Потеря несущей способности стоек происходила путем потери устойчивости второго рода, что соответствует второй группе предельных состояний, характеризовалась резким ростом перемещений (в два-четыре раза по сравнению с предшествующими ступенями) при незначительном увеличении нагрузки. Явлений местной потери устойчивости элементами стоек во время опытов не наблюдалось. Анализ графиков испытаний стоек (рис. 4-5) показывает, что в испытанных стойках зависимости $N-x$, носят линейный характер в упругой и явно нелинейный в упругопластической стадии работы. Наблюдается плавный переход от упругой к упругопластической стадии деформирования. При развитии пластических деформаций тангенс угла наклона касательной к кривым заметно уменьшается.

Экспериментально определены несущая способность и напряженно-деформированное состояние стальных поврежденных стоек, сжатых с одноосным эксцентриситетом. Наиболее опасными оказались повреждения в полках двутавра. Выполнено сравнение результатов конечно-элементного моделирования и экспериментальных данных. Результаты эксперимента, в целом, соответствовали данным расчетов в ПК SCAD, только для упругой стадии деформирования. При предельных нагрузках разница перемещений, определенных экспериментально и численно, достигала 50% при сравнении эксперимента с расчетом. Полученные экспериментальные данные позволяют считать использованные численные решения достаточно достоверными только в упругой стадии работы материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кикин А.И., Васильев А.А., Кошутин Б.Н. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий. 2-е издание, переработанное и доп. // М. Стройиздат.1984.С. 301.
2. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек.//М.: Наука,1971.С.808.
3. Стрелецкий Н.С. Работа сжатых стоек: Материалы к курсу стальных конструкций //М. Госстройиздат.1959.. Вып.2 Ч.1.С.282.
4. Партон В.З., Морозов Е.М.. Механика упругопластичного разрушения// М., «Наука», 1985.С. 504.
5. Тельман А., Безунер П. Применение анализа риска к исследованию хрупкого разрушения и усталости стальных конструкций. Сборник «Механика разрушения. Разрушение конструкций» //«Мир».1980.С.256.
6. Нежданов К.К., Куничкин П.В., Нежданов А.К. Повышение надежности каркасов производственных зданий, снабженных мостовыми кранами, и управление их напряженно-деформируемым состоянием// Научно-технический журнал «Строительная механика и расчет сооружений». 2009.№1.С.35–37.
7. Шаблинский Г.Э., Джинчвелашвилли Г.А., Васильев А.В., Колесников А.В. Идентификация расчетных схем сооружений на основе экспериментальных исследований // Научно-технический журнал «Строительная механика и расчет сооружений». 2008г. №6.С.68–73.
8. Чирков В.П., Радин В.П., Щугурев А.В. Устойчивость стержня на упругом основании при непотенциальномзагружении //Научно-технический журнал «Строительная механика и расчет сооружений». 2008г. №5.С.5–10.
9. КлимовА.Н..Методика обработки данных системы мониторинга высотного здания // Научно-технический и производственный журнал «ПГС».2012г. №12.
10. Кудишин Ю.И., Беленя Е.И. Металлические конструкции10-е издание. М: Академия, 2007г.

Рецензент: Петр Павлович Гайджуров, профессор, доктор технических наук кафедры «Техническая механика» Ростовского государственного строительного университета.

REFERENCES

1. Kikin A.I., Vasil'ev A.A., Koshutin B.N. Povyshenie dolgovechnosti metallicheskih konstrukcij promyshlennyh zdaniy. 2-e izdanie, pererabotannoe i dop. // M. Strojizdat.1984.S. 301.
2. Timoshenko S.P. Ustojchivost' sterzhnej, plastin i obolochek.//M.: Nauka,1971.S.808.
3. Streleckij N.S. Rabotaszhatyhstoeck: Materialy k kursustal'nyhkonstrukcij //M. Gosstrojiz-dat.1959.. Vyp.2 Ch.1.S.282.
4. Parton V.Z., Morozov E.M.. Mehanikauprugoplastichnogorazrusheniya// M., «Nauka», 1985.S. 504.
5. Tel'man A., Bezuner P. Primenenieanalizariska k issledovaniyuhrupkogorazrusheniya i ustalostistal'nyhkonstrukcij. Sbornik «Mehanikarazrusheniya. Razrusheniekonstrukcij» //«Mir».1980.S.256.
6. Nezhdanov K.K., Kunichkin P.V., Nezhdanov A.K. Povyshenieadezhnostikarkasovproizvodstvennyhzdaniy, snabzhennyhmostovymikranami, i upravlenieihnaprjazyhenno-deformiruemymsostojaniem// Nauchno-tehnicheskijzhurnal «Stroitel'najamehanika i raschetsooruzhenij». 2009.№1.S.35–37.
7. Shablinskij G.Je., Dzhinchvelashvilli G.A., Vasil'ev A.V., Kolesnikov A.V. Identifikacijaraschetnyhshemsooruzhenijnaosnovejeksperimetal'nyhissledovaniy // Nauchno-tehnicheskijzhurnal «Stroitel'najamehanika i raschetsooruzhenij». 2008g. №6.S.68–73.
8. Chirkov V.P., Radin V.P., Shhugurev A.V. Ustojchivost' sterzhnjanauprugomosnovaniiprinepotencial'-nomzagruzhenii //Nauchno-tehnicheskijzhurnal «Stroitel'najamehanika i raschetsooruzhenij». 2008g. №5.S.5–10.
9. Klimov A.N..Metodikaobrabotkidannyhsistemymonitoringavysotnogozdaniya // Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyjzhurnal «PGS».2012g. №12.
10. KudishinJu.I., Belenja E.I. Metallicheskiekonstrukcii 10-e izdanie. M: Akademija, 2007g.