



№ 1 за 2020 год

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

**И.Ю. БЕЛУЦКИЙ**, д.т.н., **И.В. ЛАЗАРЕВ**, к.т.н. Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

**УДК 624.21/8. ОЦЕНКА ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАДВИГАЕМЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ В СРЕДЕ MATHCAD...2**

В публикации показана эффективность привлечения программы MathCad к реализации технической части формулы Мора для оценки деформированного состояния надвигаемых пролетных строений разрезных систем, объединяемых на период монтажа в неразрезные системы и в таком виде представляющих регулярные структуры, для которых наряду с унификацией грузовых моментов и моментов от единичных сил возможна систематизация подынтегральных выражений формулы Мора с соответствующей алгоритмизацией вычислительных операций.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонные пролетные строения, продольная надвигка.

UDC 624.21/8. **ASSESSMENT OF THE DEFORMED STATE OF SLIDING SPANS WITH VARIABLE STIFFNESS WITH MATHCAD SOFTWARE.** I.Y. Belutsky, I.V. Lazarev, Pacific National University, Khabarovsk.

**Abstract.** The publication describes the effectiveness of using the MathCAD Software for the implementation of the technical part of the Mohr's equation for assessing the deformed state of sliding spans of split systems, united for the installation period into continuous systems and representing standard structures in this form, for which, along with unification of load moments and moments from unit forces, there is possibility of systematization of the integrands of the Mohr's equation with the corresponding algorithmization of computational operations.

**Key words:** composite reinforced concrete, longitudinal slide.

**Е.Б. КОРЕНЕВА<sup>1</sup>**, д.т.н., проф., **В.Р. ГРОСМАН<sup>2</sup>**, инж. <sup>1</sup>Московское высшее общевойсковое командное орденов Жукова, Ленина и Октябрьской Революции Краснознаменное училище, <sup>2</sup>МГАВТ – филиал ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

**УДК 624.073. НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ СТАТИКИ АНИЗОТРОПНЫХ УПРУГИХ ТЕЛ С УЧЕТОМ ИХ КОНТАКТА С ПОДАТЛИВЫМ ОСНОВАНИЕМ ПРИ АНТИСИММЕТРИЧНЫХ НАГРУЗКАХ...9**

Изучается антисимметричная деформация круглых анизотропных упругих пластин с учетом их контакта с податливым основанием. Подобные вопросы, в частности, возникают при расчете фундаментных плит на действие горизонтальных нагрузок. Для получения решения используется аналитический подход, применяется метод компенсирующих нагрузок (МКН). Поставленная задача описывается дифференциальным уравнением четвертого порядка с переменными коэффициентами, которое, как показал анализ, не распадается на два сопряженных дифференциальных уравнения второго порядка, каждое из которых интегрируется в функции Бесселя. Последнее имеет место для круглой пластины, сделанной из изотропного материала и лежащей на основании, свойства которого описываются моделью Винклера. Для получения решения рассматриваемой задачи в замкнутом виде в цилиндрических функциях используется уравнение Нильсена. Производится учет действия антисимметричных нагрузок, распределенных по концентрической окружности по законам  $q_0 \sin \theta$  и  $q_0 \cos \theta$ , или нагрузкой, распределенной по площади кольца по линейному закону. Рассматриваются различные граничные условия.

**Ключевые слова:** круглые пластины, анизотропия, упругое основание, функции Бесселя.

UDC 624.073. **CERTAIN STATICS PROBLEMS OF ANISOTROPIC ELASTIC SOLIDS, RESTING ON AN ELASTIC SUBGRADE AND SUBJECTED TO AN ACTION OF ANTISYMMETRIC LOADS.** E.B. Koreneva, Moscow Higher Combined-Arms Command Academy.

**Abstract.** Antisymmetric bending of anisotropic circular plates, resting on an elastic subgrade, is under study. Analytical approach is used. Method of compensating loads (MCL) is applied. For receiving of the basic and the compensating solutions the new approach, concerning Nielsen's equation application, is used. The influence of various boundary conditions and the action of discontinuous loads are investigated. The solutions are obtained in closed form in terms of Bessel functions.

**Key words:** circular plates, anisotropy, elastic subgrade, Bessel functions.

**М. Н. КИРСАНОВ**, д-р физ.-мат. наук, проф. (НИУ МЭИ, г. Москва)

**УДК 624.35. СХЕМА И ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОГИБА ФЕРМЫ ТРЕХПРОЛЕТНОГО КОНСОЛЬНОГО МОСТА С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ ПАНЕЛЕЙ...16**

Цель. Ставится задача получения точного решения задачи о прогибе плоской модели фермы составного консольного моста с произвольным числом панелей. Ферма симметричная, статически определяемая с двумя консолями и балочной фермой, соединяющей консоли. Из четырех опор конструкции одна опора моделируется неподвижным шарниром. Решетка фермы треугольная, нагрузка прикладывается равномерно по узлам нижнего пояса или в середине пролета. Выводятся также зависимость горизонтального смещения подвижной опоры от нагрузки и числа панелей в конструкции. **Метод.** Усилия в стержнях фермы определяются из общей системы уравнений равновесия всех узлов фермы с использованием программы символьных преобразований Maple. Для нахождения прогиба и смещения опоры применяется формула Мора. Отдельные решения, полученные для ферм с последовательно увеличивающимся числом панелей, методом двойной индукции обобщаются на произвольное число панелей в два этапа — сначала по числу панелей в балочной ферме, затем — по числу панелей в консолях. Коэффициенты искомой формулы определяются из решения рекуррентных уравнений, составленных с помощью операторов системы Maple. **Результаты.** Получены формулы для прогиба и смещения в виде полиномов третьего и четвертого порядка. В случае ограничения на суммарное число панелей и длину пролета на графиках решения обнаружены экстремальные точки, позволяющие оптимизировать соотношение размеров частей конструкции для увеличения ее жесткости. Найдены некоторые асимптотические по числу панелей свойства решения.

**Ключевые слова:** ферма, консольный мост, прогиб, Maple, индукция, число панелей, асимптотика.

UDC 624.35. **SCHEME AND FORMULAS FOR CALCULATING THE DEFLECTION OF THE TRUSS OF A THREE-SPAN CANTILEVER BRIDGE WITH AN ARBITRARY NUMBER OF PANELS.** M.N. Kirsanov, National Research University Moscow Power Engineering Institute.

**Abstract.** The task of obtaining an exact solution to the problem of deflection of a flat truss model of a composite cantilever bridge with an arbitrary number of panels is set. The truss is symmetrical, statically definable with two consoles and a beam truss connecting the consoles. Of the four pillars of the structure, one support is modeled by a fixed hinge. The truss grid is triangular, the load is applied evenly at the lower belt nodes or in the middle of the span. The dependence of the horizontal displacement of the movable support on the load of the number of panels in the structure is also deduced. The forces in the truss rods are determined from the General system of equilibrium equations for all truss nodes using the maple symbolic transformation program. To find the deflection and displacement of the support, the Mohr formula is used. Individual solutions obtained for trusses with a consistently increasing number of panels are generalized by double induction to an arbitrary number of panels in two stages—first by the number of panels in the beam truss, then by the number of panels in the consoles. The coefficients of the desired formula are determined from the solution of recurrent equations made using operators of the Maple system. Formulas for deflection and displacement in the form of third- and fourth-order polynomials are obtained. If there is a limit on the total number of panels and the span length, extreme points are found on the solution graphs that allow optimizing the ratio of the size of the parts of the structure to increase its rigidity. Some asymptotic properties of the solution for the number of panels are found.

**Key words:** truss, cantilever bridge, deflection, Maple, induction, number of panels, asymptotics

**М.О. МОИСЕЕНКО**, к.т.н., **О.Н. ПОПОВ**, к.т.н., ТГАСУ, Томск

**УДК 7.04:535.4.011.22.23. НЕРАВНОМЕРНЫЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ НАГРЕВ НЕРАЗРЕЗНОЙ ГИБКОЙ ПЛАСТИНЫ С ОПОРНЫМИ РЕБРАМИ И ПОГИБЫЮ...23**

Определяется НДС гибкой двухпольной пластины. Размеры пластины:  $a/h \times b/h = 50 \times 100$ . Материал: жаропрочный сплав ВТ6. Отношением меньшего размера в плане  $a$  к толщине  $h$  определена гибкость  $\lambda = 50$ . Граничные условия пластины: поперечные кромки опираются на ребра жесткости  $b_p/h \times h_p/h = 2 \times 4$ , продольные кромки шарнирно закреплены. Пластина разделена симметрично шарнирно неподвижным закреплением в поперечном направлении. Начальные прогибы заданы в виде синусоиды. Максимальный начальный прогиб расположен в центре пластины и сравним с ее толщиной  $h$ . Пластина находится под воздействием неравномерного нагрева. Температура распределена симметрично в поперечном направлении по линейной зависимости. При исследовании НДС пластины учитывается неоднородность, связанная с изменением механических свойств сплава от величины температуры. НДС пластины характеризуется интенсивностью напряжений и прогибом. Результаты расчетов проанализированы.

**Ключевые слова:** гибкая пластина, прогиб, геометрическая нелинейность, нагрев, механические свойства зависят от величины температуры, неоднородность.

UDC 7.04:535.4.011.22.23. **UNEVEN TRANSVERSE HEATING OF A CONTINUOUS FLEXIBLE PLATE WITH SUPPORTING RIBS AND KILLING.** M.O. Moiseenko, O.N. Popov, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering.

**Abstract.** Determined by the NDS of a flexible two-plate plate. Plate dimensions:  $a/h \times b/h = 50 \times 100$ . Material is heat-resistant alloy - VT6. The ratio  $\lambda = 50$  of the smaller dimension in terms of  $a$  to the thickness  $h$  is defined. The boundary conditions of the plate: the transverse edges are supported by stiffeners  $b_p/h \times h_p/h = 2 \times 4$ , the longitudinal edges are hinged. The plate is divided symmetrically pivotally by a stationary fastening in the transverse direction. Initial deflections are given in the form of a sinusoid. The maximum initial deflection is located in the center of the plate and is comparable with its thickness  $h$ . The plate is exposed to uneven heating. The temperature is distributed symmetrically in the transverse direction in a linear manner. When studying the VAT of a plate, inhomogeneity associated with a change in the mechanical properties of the alloy as a function of temperature is taken into account. NDS plates are characterized by stress intensity and deflection. The calculation results are analyzed. Silt. 7. Tabl. 3. The bibl. 13.

**Key words:** flexible plate, deflection, geometric nonlinearity, heating, mechanical properties depend on temperature, heterogeneity.

## [Численные расчеты](#)

### [Numerical calculations](#)

**Г.А. МАНУЙЛОВ, к.т.н., доцент, С.Б. КОСИЦЫН, д.т.н., проф., И.Е. ГРУДСЫНА, аспирант Российской университет транспорта (РУТ (МИИТ)), г. Москва. УДК 539.3 ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ КРИТИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ГИБКОЙ ПОДКРЕПЛЕННОЙ ПЛАСТИНЫ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕСОВЕРШЕНСТВ...30**

В работе исследованы особенности влияния начальных геометрических несовершенств подкрепленной продольно-сжатой пластины с двукратными критическими нагрузками. Построена соответствующая бифуркационная диаграмма и бифуркационное множество. Результаты работы показали, что при выбранных геометрических параметрах пластины и подкрепляющих ее элементов чувствительность критических нагрузок к начальным геометрическим несовершенствам не слишком велика (падение критической нагрузки не более 22%).

**Ключевые слова:** подкрепленная пластина, бифуркационная диаграмма, бифуркационное множество, начальные геометрические несовершенства.

UDC 539.3. NUMERICAL ANALYSIS CRITICAL EQUILIBRIUM OF FLEXIBLE SUPPORTED PLATE WITH ALLOWANCE FOR INFLUENCE INITIAL GEOMETRICAL IMPERFECTIONS. G.A. Manuylov, S.B. Kositsyn, I.E. Grudtsyna, Moscow, Russian University of Transport.

Annotation the influence of initial geometric imperfections of a stiffened plate under longitudinal compression at the double critical buckling loads had been studied in this paper. An appropriate bifurcation diagram and bifurcation set were plotted. The results obtained showed that sensitivity of critical load to any initial geometric imperfections is actually insignificant (max 22% loss of the critical load) with specific geometric plate parameters and stiffeners selected.

**Key words:** supported plate, bifurcation diagram, bifurcation set and initial geometrical imperfections.

**П.Г. РОМАНОВ, к.т.н., доцент, П.В. СИВЦЕВ, канд. физ.-мат. наук (Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.)**

**УДК 624.011.1 ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕРЕВЯННОГО ОБРАЗЦА С ИДЕАЛИЗИРОВАННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ...37**

Численное и экспериментальное моделирование деформаций в виде волновых процессов повысит достоверность при изучении реальной картины взаимосвязи напряжений и деформаций крупноразмерных деревянных однонаправленных и перекрестно-склеенных панельных конструкций при различных нагружениях. В этой работе проводится численное моделирование распространения упругих волн в деревянном образце с идеализированной анизотропией упругих свойств. Расчеты проводились с использованием конечно-элементной аппроксимации по пространству и конечно-разностной дискретизацией по времени. Численная реализация выполнена на свободно распространяемой вычислительной платформе с открытым кодом FEniCS, на ресурсах вычислительного кластера «Ариан Кузьмин» СВФУ им. М.К. Аммосова.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, упругая волна, деревянные конструкции, анизотропия упругих параметров.

UDC 624.011.1. NUMERICAL SIMULATION OF MANIFESTATIONS OF RESISTANCE WAVE OF A WOODEN SAMPLE WITH IDEALIZED ANISOTROPY OF ELASTIC PARAMETERS. P.G.Romanov, P.V.Sivtsev, M.K.Ammosov North-Eastern Federal University.

**Abstract.** Numerical and experimental modeling of deformations in the form of wave processes will increase reliability when studying the real picture of the relationship between stresses and deformations of large-sized wooden unidirectional and cross-glued panel structures under various loads. In this work, a numerical simulation of the propagation of elastic waves in a wooden sample with idealized anisotropy of elastic properties is performed. The calculations were performed using finite element approximation in space and finite difference for time discretization. The numerical implementation was performed on the open source computing platform FEniCS, on the resources of the Arian Kuzmin computing cluster of NEFU named after M.K. Ammosov.

**Key words:** finite element method, elastic wave, wooden structures, anisotropy of elastic parameters.

**Л.С. САБИТОВ<sup>1,2</sup>, к.т.н., Ю.Г. КОНОПЛЕВ<sup>1</sup>, доктор физ.-мат. наук, Д.В. БЕРЕЖНОЙ<sup>1</sup>, доктор физ.-мат. наук <sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, <sup>2</sup>Казанский государственный энергетический университет**

**УДК 624.012, 539.3 ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С ГРУНТОМ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ ОПОРЫ НА ЕЕ ПРОЧНОСТЬ НА ЭТАПАХ ЕЕ ВОЗВЕДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ...44**

В работе проводится исследование влияния геометрических, механических и структурных параметров усиления стыковочных узлов на напряженно-деформированное состояние конструкции опор воздушных линий электропередач с учетом взаимодействия забетонированного основания опор с окружающим их грунтом. Стальные опоры воздушных линий электропередач, представляющие собой тонкостенные стержни-оболочки закрытого профиля, моделируются конечными элементами оболочки типа Тимошенко. Бетонное основание опоры и окружающий его грунт дискретизируются трехмерными конечными элементами сплошной среды с соответствующими физико-механическими свойствами. Исследуется влияние вариантов кинематических условий закрепления опоры и учет контактного взаимодействия бетонной опоры и грунта на вычисление НДС конструкции. Реализована методика расчета конструкций стальных опор и их стыковочных узлов в рамках программного комплекса численного моделирования ANSYS 14.5. На основе предложенной методики проведен вычислительный эксперимент, в ходе которого проведен анализ напряженно-деформированного состояния укреплённых в грунте опор воздушных линий электропередач для различных видов усиления стыковочных узлов.

**Ключевые слова:** высотные сооружения, тонкостенный стержень замкнутого профиля, метод конечных элементов, оболочка типа Тимошенко, контактное взаимодействие.

UDC 624.012, 539.3. THE INFLUENCE OF THE DESIGN FEATURES OF THE TELESCOPIC SUPPORT INTERACTING WITH THE SOIL ON ITS STRENGTH AT THE STAGES OF ITS CONSTRUCTION AND OPERATION, L.S. Sabitov<sup>1,2</sup>, Y.G. Konoplev<sup>1</sup>, D.V. Berezhnoi<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Kazan (Volga region) Federal University, <sup>2</sup>Kazan Engineering Institute.

**Abstract.** The study examines the influence of geometric, mechanical and structural parameters of the reinforcement of the docking nodes on the stress-strain state of the structure of the supports of overhead power lines taking into account the interaction of the concrete base of the supports with the surrounding soil. Steel supports of overhead power lines, which are thin-walled shell-rods of a closed profile, are modeled by finite elements of a Timoshenko-type shell. The concrete base of the support and the surrounding soil are sampled by three-dimensional finite elements of a continuous medium with the corresponding physical and mechanical properties. The influence of options for kinematic conditions of support fastening and taking into account the contact interaction of a concrete support and soil on the calculation of the design VAT is studied. A methodology for calculating the structures of steel supports and their docking catches was implemented as part of the ANSYS 14.5 numerical simulation software package. Based on the proposed methodology, a computational experiment was conducted, during which an analysis was made of the stress-strain state of the overhead power transmission towers fixed in the ground for various types of reinforcement of the docking nodes.

**Key words:** high-rise structures, a thin-walled rod of a closed profile, the finite element method, a shell of the Timoshenko type, contact interaction.

## [В порядке обсуждения](#)

### [In order to discuss](#)

**Х.К. СЕЙФУЛЛАЕВ, д.т.н., проф. Азербайджанский НИИ строительства и архитектуры**

**УДК 620.172.242.001.57 УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ К РАСЧЕТУ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НОВОМУ ПОНЯТИЮ О ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ...52**

В работе рассматривается сравнение актуализированного норматива по железобетону России и Еврокода, где выявлены некоторые нестыковки результатов расчета и изучены их причины. Даются пути устранения нестыковки полученных решений. К нестычкам двух нормативных документов относятся различия взглядов о предельном состоянии железобетонных элементов и результаты расчета с применением этих различных предельных состояний, использование нелинейной деформационной модели, основой которой является гипотеза плоских сечений и диаграммы состояния бетона, линеаризации решения задачи путем замены криволинейных форм диаграмм состояния бетона кусочно-линейными формами, решение задачи длительной прочности бетона с введением понятия о нисходящей ветви криволинейной диаграммы деформации бетона и другие проблемы, характеризующие свойства бетона сжатой зоны. На основании числовых примеров доказано, что при правильном применении деформационной модели можно устранить вышеуказанные нестыковки двух нормативных документов. Нестыковки этих задач будут учтены при составлении нового варианта национального норматива AzDTN 2.16-1.

**Ключевые слова:** нелинейная деформационная модель, диаграмма состояния, нестыковка, длительная прочность бетона, кусочно-линейная форма диаграммы, метод предельных состояний.

UDC 620.172.242.001.57. IMPROVEMENT OF APPLICATIONS NON-LINEAR DEFORMATION MODEL IN CALCULATION OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS BY NEW CONCEPT OF LIMIT STATES. Kh.K. Seyfullaev, Azerbaijan Scientific-Research Institute of Construction and Architecture.

**Abstract.** The paper compares the national standard for reinforced concrete and the same French standard and identifies some discrepancies in the calculation results with a study of their cause. The ways of eliminating the discrepancy of received decisions are given. By the discrepancies of the two regulations are different views about the ultimate state of reinforced concrete elements and the calculation results with the use of these different limit states, the use of nonlinear deformation model, the basis of which is the hypothesis of plane sections and concrete state diagrams, linearization for solving the problem by replacing the curved shapes of concrete state piecewise linear form diagrams, solution of the problem of long-term strength of concrete with the introduction of the concept of a low-branch of the curvilinear diagram of concrete deformation and other problems characterizing the properties of concrete in a compressed zone. On the basis of numerical examples it is proved that with the correct application of the deformation model, it is possible to eliminate the above discrepancies between the two regulations. The discrepancy of these tasks will be taken into account when drafting a new version of the national standard AzDTN 2.16-1.

**Key words:** nonlinear deformation model, state diagram, discrepancy, durability of concrete, piecewise linear form of the diagram, method of limiting states.

## [Нормирование](#)

### [Codification](#)

**М.В. ВОЛОДИН, ООО «Астрон Билдингс», В.В. КАТЮШИН, к.т.н., фирма УНИКОН (РФ, г. Кемерово), Д.В. КОНИН, к.т.н., ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИИ «Строительство»), А.Р. ОЛУРОМБИ, инженер, ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИИ «Строительство»), С.П. РЫЧКОВ, индивидуальный предприниматель**  
**УДК 624.014, 624.04 НОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИЕМКЕ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И РАСЧЕТОВ...62**

Рассмотрены проблемы проектирования и приемки фланцевых болтовых соединений (ФС) стальных конструкций. Отмечается, что проектировщики для расчета ФС используют нормативно-техническую литературу времен 1970–1980-х годов, а при приемке конструкций нормами выдвигаются неисполнимые требования машиностроительной точности (например, зазор между фланцами не должен превышать 0,1 мм). Для разрешения указанных проблем, а также в целях систематизации имеющегося опыта исследований и проектирования ФС с учетом развития пластических деформаций и наличия дефектов в виде зазоров были проведены испытания ФС с различной конфигурацией фланцев и начальных несовершенств в виде грибовидности и зазоров. Проанализированы экспериментальные и численные исследования как простых Т-образных двухболтовых соединений, так и полноразмерных ФС построенных зданий. Установлено, что расчет фланцевых соединений только по болтам дает запас 26-40%, в том числе для соединений с грибовидностью и незаполненными пластинами зазорами до 1,5 мм в зоне болтов. Наличие зазоров между фланцами раскрытием до 1,5 мм в зоне болтов и грибовидность фланцев (а равно – отсутствие фрезеровки контактных поверхностей фланцевых соединений, наличие окрашенных поверхностей)

приводит к изменению условий развития рычажных сил, что понижает предельную несущую способность не более чем на 3% в сравнении с образцами без грибовидности и зазоров, с фрезерованными контактными поверхностями. Ремонт ФС с зазорами путем установки проставочных пластин является эффективным. Для ФС с зазорами, которые не превышают установленных в статье параметров, можно использовать аналитическую методику расчета или МКЭ, принимая расчетное сопротивление одноболтового соединения равным  $R_{bt} = 0,54 R_{bun}$ , независимо от класса прочности болтов, а коэффициент условий работы фланца  $\gamma_s = 1,4$ . Требования, сформулированные в настоящей статье, к расчету и приемке конструкций рекомендуется внести в СП 16.13330 и СП 70.13330.

**Ключевые слова:** фланцевое соединение, стальная конструкция, узел, фланец, болт, болтовое соединение, каркас, пластическая деформация, зазор, дефект монтажа, расчет.

UDC 624.014, 624.04. STANDARDIZATION OF REQUIREMENTS FOR THE DESIGN AND ACCEPTANCE OF FLANGE CONNECTIONS ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL DATA AND CALCULATIONS. M.V. Volodin<sup>1</sup>, V.V. Katushin<sup>2</sup>, D.V. Konin<sup>3</sup>, A.R. Olurombi<sup>4</sup>, S.P. Rychkov<sup>5</sup>, <sup>1</sup>LLC Astron Buildings, Yaroslavl; <sup>2</sup>UNION, Kemerovo; <sup>3</sup>V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Constructions, Moscow; <sup>4</sup>V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Constructions, Moscow; <sup>5</sup>individual entrepreneur.

**Abstract.** The problems of design and acceptance of flange bolted joints (FS) of steel structures are considered. It is noted that designers for calculation of FS use the normative and technical literature 1970-1980's. During erection codes put forward unenforceable requirements of machine-building accuracy (for example, the gap between flanges should not exceed 0,1 mm). To solve these problems, as well as in order to systematize the existing experience of research and design of the FS, taking into account the development of plastic deformations and the presence of defects (gaps), the FS was tested with different flanges and initial imperfections configurations. Experimental and numerical studies of simple T-shaped two-bolt connections and full-size FS of existing buildings are analyzed. It is established that the calculation of flange connections only by bolts gives a margin of 26-40%, including for connections with gaps up to 1.5 mm in the bolt area. The presence of gaps between the flanges of up to 1.5 mm in the bolt area (as well as the lack of milling of the contact surfaces of flange connections, the presence of painted surfaces) leads to a change in the conditions of the development of lever forces, which reduces the ultimate load-bearing capacity by no more than 3% compared to samples without gaps, with milled contact surfaces. Repair of FS with gaps by installation of shim-plates is effective. For FS with gaps that do not exceed the parameters set in the article, can use an analytical calculation method or FEM, taking the calculated resistance of a single-bolt connection equal to  $R_{bt} = 0,54 R_{bun}$ , regardless of the bolt class, and the coefficient for flange  $\gamma_s = 1,4$ . The requirements formulated in this article for the calculation and acceptance of structures are recommended to be introduced in SP 16.13330 and SP 70.13330.

**Key words:** flange connection, steel structure, connection, flange, bolt, bolted connection, frame, plastic deformation, gap, installation defect, calculation.

№ 2 за 2020 год

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.2.14

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ИДЕАЛЬНО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ДЕКАРТОВЫХ КООРДИНАТАХ ПРИ БИЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ЗАМЫКАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ...2

Рассматриваются вопросы построения дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях для плоского деформирования идеально упругопластической, в отношении сдвиговых деформаций, сплошной среды при билинейной аппроксимации замыкающих уравнений, как с учетом, так и без учета геометрической нелинейности, в декартовой системе координат. Нелинейная диаграмма объемного деформирования аппроксимируется билинейной функцией. Исходя из предположения о независимости, вообще говоря, друг от друга диаграмм объемного и сдвигового деформирования рассмотрены пять основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома билинейных диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Построение билинейных физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. При этом на первом участке диаграмм секущий модуль и объемного, и сдвигового деформирования постоянен, в то время как на втором участке диаграмм секущий модуль объемного деформирования является функцией объемной деформации, а секущий модуль сдвига является функцией интенсивности деформаций сдвига. Подставляя соответствующие билинейные физические соотношения в дифференциальные уравнения равновесия сплошной среды, записанные без учета геометрической нелинейности, получены разрешающие дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для плоской деформации в декартовой системе координат. Полученные дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут найти применение при определении напряженно-деформированного состояния идеально упругопластических, в отношении сдвиговых деформаций, сплошных сред, входящих в условия плоского деформирования, как с учетом, так и без учета геометрической нелинейности, физические соотношения для которых аппроксимированы билинейными функциями.

**Ключевые слова:** сплошная среда, идеально упругопластическое деформирование, плоская деформация в декартовых координатах, дифференциальные уравнения равновесия, билинейные замыкающие уравнения, геометрическая линейная модель.

UDC 519.633. DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.2.14. DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EQUILIBRIUM OF ELASTIC PERFECTLY PLASTIC CONTINUUM FOR PLANAR DEFORMATION AT CARTESIAN REFERENCE SYSTEM AT BILINEAR APPROXIMATION OF CLOSING EQUATIONS. S.V. Bakushev, Penza State University of Architecture and Construction.

**Abstract.** Under analysis there are questions of construction of differential equations of equilibrium in movements for planar straining of elastic perfectly plastic, relating to shear deformations, continuum at bilinear approximation of closing equation, regarding and regardless geometrical nonlinearity at Cartesian reference system. Nonlinear diagram of volume straining is approximated by bilinear function. Based on the assumption of independence from each other of volume and shear straining diagrams, there being analyzed five main cases of physical mutual interaction, depending on positional relationship of breaking points of bilinear diagrams of volume and shear straining. The construction of bilinear physical dependencies is based on calculation of secant modulus of volume and shear straining. Therefore, at the first part of the diagrams, the secant modulus of volume and shear straining is constant, while at the second part of the diagrams the secant modulus of volume straining is a function of volume deformation and the shear secant modulus is an intensity shear deformation function. While putting corresponding bilinear physical formula into differential equations of continuum equilibrium, written down regardless geometrical nonlinearity, we got resolving differential equations of equilibrium at movements for planar deformation at Cartesian reference system. Constructed differential equations of equilibrium at the movements can be applied while determining strain-stress state of elastic perfectly plastic in relation to shear deformations, continuum at the condition of planar straining, both regarding and regardless geometrical nonlinearity, physical relations for which are approximated by bilinear functions.

**Key words:** continuum, elastic perfectly plastic straining, planar deformation at Cartesian reference system, differential equations of equilibrium, bilinear closing equations, geometrically linear model.

УДК 624.04:539.376 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.15.20

А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., проф. Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г. Киев, Украина  
ПЛАСТИНКИ, ЧАСТИЧНО ОПЕРТЫЕ ПО КОНТУРУ...15

Предмет исследования – пластинки из идеального жесткопластического материала. Часть контура пластинок свободна от закрепления. Можно предположить, что если свободная часть контура сравнительно невелика, несущая способность пластинок может не снижаться по сравнению с несущей способностью такой же полностью закрепленной пластинки. Рассматриваемая задача заключается в определении именно такой длины незакрепленного края пластинок разной формы. Квадратные пластинки исследованы при закреплении их угловых участков и при частичном закреплении середин сторон, а также рассмотрены круглые пластинки. Представленные решения получены кинематическим методом теории предельного равновесия путем сравнения различных возможных форм исчерпания несущей способности пластинок.

**Ключевые слова:** несущая способность, пластинки, частично опертые по контуру, длина неопертого края.

UDC 624.04:539.376 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.15.20. PLATES PARTLY SUPPORTED. A.S. Dekhtyar', National Academy of Fine Arts and Architecture, Kiev, Ukraine.

**Abstract.** The subject of research is plates made in ideal rigid-plastic material. Part of plates contour is free of fixing. It is possible to assume that if free part of contour is comparatively small, load carrying capacity of plate can go not down on comparison with load carrying capacity of the same fully supported plate. The task considered consists in determination of just the same length of the plates unfixed edge of a different form. Square plates are explored at fixing of their corner areas as well as at the partial supporting of middles of sides and also round plates are explored. The solutions presented are got the kinematical method of the limit equilibrium theory by comparison of different possible smash forms of plates for load carrying capacity finding.

**Key words:** plates, partly supporting, load carrying capacity, limit load theory, plasticity.

УДК 624.35 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.21.27

М. Н. КИРСАНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф. НИУ МЭИ, г. Москва; e-mail: mpei2004@yandex.ru

ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАВИСИМОСТИ ПРОГИБА ФЕРМЫ С ПОДВЕСНЫМ НИЖНИМ ПОЯСОМ ОТ ЧИСЛА ПАНЕЛЕЙ...21

Цель: Вывод в аналитической форме зависимости прогиба модели плоской статической определимой фермы в форме рамы от числа панелей в ригеле и боковых частях.

Дополнительный прямолинейный нижний пояс (затяжка) подвешен к ригелю. Решетка фермы крестообразная, две симметричные части соединены шарнирно. Одна опора фермы является неподвижным шарниром, три опоры — подвижные шарниры. Рассмотрен случай нагрузки, равномерно распределенной по узлам подвесного пояса. Метод. Прогиб фермы определяется по формуле Максвелла–Мора по значениям усилий, найденных в символической форме из решения системы уравнений равновесия узлов конструкции. Используются операторы программы символьных преобразований Maple. Серия решений, полученных для ферм с разным числом панелей, методом индукции по двум независимым параметрам обобщается на произвольное число панелей. Коэффициенты формулы для прогиба находятся из решения линейных однородных рекуррентных уравнений, которым они удовлетворяют. Результаты. Выведены формулы для прогиба конструкции и усилий в критических (наиболее сжатых и растянутых) стержнях. Все решения имеют вид полиномов не выше четвертой степени. Для четных чисел панелей обнаружен и подтвержден схемизм возможных скоростей узлов случай кинематической изменчивости конструкции. Выполнен асимптотический анализ решения.

**Ключевые слова:** ферма, рама, прогиб, Maple, индукция, число панелей, асимптотика, затяжка, подвесной пояс.

UDC 624.35 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.21.27. FORMULAS FOR CALCULATING THE DEPENDENCE OF THE DEFLECTION OF A TRUSS WITH A SUSPENDED LOWER BELT ON THE NUMBER OF PANELS. M.N. Kirsanov, National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia; e-mail: mpei2004@yandex.ru

**Abstract.** Output in analytical form of the dependence of the deflection of the model of a flat statically definable truss in the form of a frame on the number of panels in the crossbar and side parts is obtained. An additional straight lower belt (tie) is suspended from the crossbar. The truss grid is cross-shaped, with two symmetrical parts connected by a hinge. One truss support is a fixed hinge, three supports are movable hinges. The case of a load evenly distributed over the nodes of the suspension belt is considered. The deflection of the truss is determined by the Maxwell–Mohr formula based on the values of forces found in symbolic form from the solution of the system of equilibrium equations of the construction nodes. The operators of the symbol transformation program Maple are used. A series of solutions obtained for farms with different numbers of panels is generalized by induction using two independent parameters to an arbitrary number of panels. The coefficients of the formula for deflection are found from the solution of linear homogeneous recurrent equations that they satisfy. Formulas for the deflection of the structure and forces in the critical (most compressed and stretched) rods are derived. All solutions have the form of polynomials no higher than the fourth power. For even numbers of panels, the case of kinematic changeability of the structure was detected and confirmed by the scheme of possible node speeds. An asymptotic analysis of the solution is performed.

**Key words:** truss, frame, deflection, Maple, induction, number of panels, asymptotics, screed, suspension belt.

УДК 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.28.32

**Е.Б. КОРЕНЕВА<sup>1</sup>, д.т.н., проф., В.Р. ГРОСМАН<sup>2</sup>, инж. <sup>1</sup>Московское высшее общевойсковое командное орденов Жукова, Ленина и Октябрьской Революции Краснознаменное училище, <sup>2</sup>МГАВТ – филиал ФГБОУ ВО «ГУМРФ им.адм.С.О. Макарова»; e-mail: elena.koreneva2010@yandex.ru**  
**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ...28**

Исследуются комбинированные конструкции, имеющие в плане круговую форму и состоящие из двух или нескольких участков с различными законами изменения толщины. Материал может быть ортотропным и изотропным. Толщина пластины в местах сочленения отдельных участков либо непрерывна, либо имеет разрыв непрерывности, что определяется конструктивными соображениями. Аналитическая методика расчета подобных конструкций практически еще не разработана. В данной работе для расчета используется аналитический метод, основанный на теории специальных функций. В частности, используются классические ортогональные многочлены Гегенбауэра. Удовлетворяются условия сопряжения отдельных участков. Для построения решений используются специально введенные вспомогательные функции.

**Ключевые слова:** комбинированные пластины, аналитический метод, ортогональные многочлены.

UDC 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.28.32. **ANALYTICAL COMPUTATION OF COMBINED CONSTRUCTIONS.** E.B. Koreneva<sup>1</sup>, V.R. Grosman<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Moscow Higher Command Academy, <sup>2</sup>MGAVT, Moscow.

**Abstract.** Combined constructions having the circular form and consisting of two or a few parts with different laws of thickness variation are under study. The plates' material is orthotropic or isotropic. The plates' thickness in the places of conjugation is continuous or discontinuous. This fact depends on the construction's peculiarities. Analytical methods of the similar structures computation are practically not yet developed. The present work uses for the combined constructions computation the analytical method based on the theory of special functions. In particular, the Gegenbauer orthogonal polynomials are utilized. The conditions of the plate's separate parts conjugations are fulfilled. For this aim the special auxiliary functions are introduced.

**Key words:** combined plates, analytical method, orthogonal polynomials.

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.33.39

**М.И. ФАРФЕЛЬ, к.т.н., М.И. ГУКОВА, к.т.н., Д.В. КОНДРАШОВ, инж., Д.Ю. КОНЯШИН, инж. АО«НИЦ«Строительство» ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, г.Москва; e-mail: Farfelmi@yandex.ru**

**НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНЫХ БИМОМЕНТОВ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ...33**

Рассмотрено изменение работы элементов каркаса здания производственно-складских помещений при его монтаже и эксплуатации, из-за необоснованных отклонений от принятых проверенных опытом и расчетом типовых решений. При обследовании здания одного из производственно-складских помещений в Подмоскowie была обнаружена установка доборных элементов к нижним поясам ферм покрытия с нисходящими опорными раскосами. Показано, что это мероприятие вынуждает элементы конструкций работать в нестандартных для них условиях. Доборная панель нижнего пояса фермы с нисходящим опорным раскосом, прикрепленная к колонне, лишена возможности свободно деформироваться в направлении длины панели. Это приводит к возникновению в ней сжимающего усилия, требующего дополнительных мероприятий по обеспечению устойчивости фермы и каркаса в целом. Так как таких мероприятий в проекте не было предусмотрено, при эксплуатации здания возникло аварийное состояние, зафиксированное при обследовании и потребовавшее принятия немедленных мер по безопасности всего каркаса здания. Кроме того, из-за неудачной конструкции узла прикрепления этого доборного элемента к колонне добавились не предусмотренные проектом усилия от действия крутящих моментов, приводящих к появлению в колонне изгибно-крутильного бимоментов. Это усилие вызывает дополнительные нормальные напряжения в колонне. Приведена формула для определения изгибно-крутильного бимоментов, выведенная с использованием теории В.З. Власова в области работы тонкостенных упругих стержней открытого профиля. Дана оценка вклада этой составляющей в полное напряжение в колонне. Предложены рекомендации по нейтрализации действия изгибно-крутильного бимоментов в колоннах. Приведены меры для продления срока эксплуатации конструкций.

**Ключевые слова:** обследование, строительные конструкции, фермы покрытия, производственные здания, усиление конструкций, несущая способность, кручение, эпюры моментов.

UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.33.39. **NEUTRALIZING THE OCCURRENCE OF FLEXURAL-TORSIONAL BIMOMENTS IN STRUCTURAL ELEMENTS.** M.I. FARFEL, M.I. GUKOVA, D.V. KONDRASHOV, D.Yu. KONYASHIN, TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Stroitelstvo» Research Center of Construction, Moscow; e-mail: Farfelmi@yandex.ru.

**Abstract.** The article considers changes in the work of the elements of the frame of the building of industrial and warehouse premises during its installation and operation, due to unjustified deviations from the accepted proven experience and calculation of standard solutions. During the survey of the building of one of the production and storage facilities in the Moscow region, the installation of additional elements to the lower belts of the coating trusses with descending support struts was found. It is shown that this event forces structural elements to work in non-standard conditions for them. The additional panel of the lower belt of the truss with a descending support brace attached to the column is not able to be deformed freely in the direction of the length of the panel. This leads to a compressive force that requires additional measures to ensure the stability of the farm and the frame as a whole. Since such measures were not provided for in the project, an emergency condition occurred during the operation of the building, which was recorded during the survey, and required immediate measures to ensure the safety of the entire frame of the building. In addition, due to the unsuccessful design of the Assembly for attaching this additional element to the column, forces not provided for by the project were added from the action of torques that lead to the appearance of a bending-torsional bimoment in the column. This force causes additional normal stresses in the column. The formula for determining the Flexural-torsional bimoment, derived using the theory of V. Z. Vlasov in the field of thin-walled elastic rods of an open profile, is given. The contribution of this component to the total stress in the column is estimated. Recommendations for neutralizing the action of Flexural-torsional bimoment in columns are proposed, and measures for extending the service life of structures are given.

**Key words:** Survey, building structures, coating farms, industrial buildings, structural reinforcement, load-bearing capacity, torsion, moment plots.

УДК 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.40.47

**Ю.В. КЛОЧКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., проф., А.П. НИКОЛАЕВ<sup>1</sup>, д.т.н., проф., Т.Р. ИЩАНОВ<sup>1</sup>, к.т.н., А.С. АНДРЕЕВ<sup>1</sup>, аспирант, М.Ю. КЛОЧКОВ<sup>2</sup>, студент <sup>1</sup>Волгоградский государственный аграрный университет, <sup>2</sup>МГУ им.М.В.Ломоносова; e-mail: Klotchkov@bk.ru**

**ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НДС ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК В ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА...40**

В статье изложен алгоритм численного анализа напряженно-деформированного состояния тонких оболочек в геометрически нелинейной постановке на основе метода конечных элементов, который реализован на примере эллиптического цилиндра. При получении основных геометрических соотношений на шаге нагружения учтены деформации поперечного сдвига. При компоновке матрицы жесткости четырехузлового конечного элемента на шаге нагружения использован вариант функционала Лагранжа, выражающего равенство как возможных, так и действительных работ. На тестовых примерах выполнена верификация разработанного алгоритма и показан удовлетворительный уровень точности вычислений, приемлемый для инженерных расчетов.

**Ключевые слова:** эллиптический цилиндр, геометрическая нелинейность, шаговая процедура нагружения, деформации поперечного сдвига, конечный элемент.

UDC 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.40.47. **NUMERICAL ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THIN SHELLS IN A GEOMETRICALLY NONLINEAR FORMULATION USING THE EXAMPLE OF AN ELLIPTICAL CYLINDER.** Yu.V. Klochkov<sup>1</sup>, A.P. Nikolaev<sup>1</sup>, T.R. Ishchanov<sup>1</sup>, A.S. Andreev<sup>1</sup>, M.Yu. Klochkov<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Volgograd state agrarian University, <sup>2</sup>Moscow state University named after M.V. Lomonosov; e-mail: Klotchkov@bk.ru.

**Abstract.** The article presents an algorithm for numerical analysis of the stress-strain state of thin shells in a geometrically nonlinear formulation based on the finite element method, which is implemented on the example of an elliptical cylinder. When obtaining the basic geometric relations at the loading step, the transverse shear deformations are taken into account. When composing the stiffness matrix of a four-node finite element at the loading step, a variant of the Lagrange functional is used, which expresses the equality of both possible and actual operations. The test examples verify the developed algorithm and show a satisfactory level of calculation accuracy acceptable for engineering calculations.

**Key words:** elliptical cylinder, geometric nonlinearity, step loading procedure, transverse shear deformation, finite element.

УДК 624.012 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.47.52

**А.И.МОРДИЧ<sup>1</sup>, к.т.н., иностр.член РААСН, С.В.БОСАКОВ<sup>2</sup>, д.т.н., проф. <sup>1</sup>ОАО БестИнжиниринг, г. Минск, Беларусь; e-mail: Alex.mordich@mail.ru, <sup>2</sup>Профессор БНТУ, гл. науч. сотр. РУП «Институт БелНИИС», г. Минск, Беларусь; e-mail: Sevibo@yahoo.com**  
**К РАСЧЕТУ У ИЗГИБАЕМОЙ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНКИ...46**

Рассмотрена задача о расчете прямоугольной пластинки из физически нелинейной ортотропной материала, которая опирается на ряд отдельных опор (колонн) под действием внешней вертикальной нагрузки. Определяются прогибы и усилия в пластинке и продольные силы в колоннах. С помощью программы «Радуга» задаются зависимости «момент-кривизна» для сечений, совпадающих с главными осями ортотропии прямоугольной пластинки. По формулам Гувера определяется крутильная жесткость пластинки через цилиндрические жесткости по направлениям главных осей ортотропии. Пластинка разбивается прямоугольной сеткой на отдельные ячейки. Составляется функционал полной энергии пластинки, колонн и действующей на пластинку нагрузки. Он выражается через квадратичную функцию узловых прогибов. Дифференцируя функционал по каждому из узловых перемещений, получаем систему линейных алгебраических уравнений, решением которой являются упругие прогибы узлов прямоугольной сетки, через которые находятся усилия и кривизны в узлах ячеек пластинки. На первой итерации по ранее полученным зависимостям «момент-кривизна» определяются новые значения секущих жесткостей и снова составляется функционал полной энергии, и процесс повторяется до получения требуемой точности. Приводится пример расчета прямоугольной железобетонной пластинки, расположенной на девяти железобетонных колоннах под действием равномерно распределенной нагрузки. Численно исследована сходимость по прогибам пластинки, продольным усилиям в колоннах и погонным моментам.

**Ключевые слова:** пластинка, ортотропия, физическая нелинейность, зависимость «моменткривизна».

UDC 624.012 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.47.52. **TO THE CALCULATION OF A BENDED PHYSICALLY NONLINEAR ORTOTROPIC PLATE.** A.I. Mordich<sup>1</sup>, S.V. Bosakov<sup>2</sup>, <sup>1</sup>OJS «Best Engineering», Minsk, Belarus; e-mail: Alex.mordich@mail.ru, <sup>2</sup>RUE «Institute BelNIIS», Minsk, Belarus; e-mail: Sevibo@yahoo.com

**Abstract.** The problem of calculating a rectangular plate of a physically non-linear orthotropic material, which is based on a number of separate supports (columns), under the action of an external vertical load, is considered. Deflections and forces in the plate, and longitudinal forces in the columns are determined. Using the Rainbow program, the moment-curvature dependencies are set for cross sections coinciding with the main orthotropy axes of a rectangular plate. According to Hoover's formulas, the torsional rigidity of the plate is determined through cylindrical stiffness along the directions of the main axes of orthotropy. The plate is divided into rectangular cells by a rectangular grid. The functional of the total energy of the plate, columns and the load acting on the plate is compiled. It is expressed through the quadratic function of nodal deflections. Differentiating the functional with respect to each of the nodal displacements, we obtain a system of linear algebraic equations, the solution of which is the elastic deflections of the nodes of the rectangular grid, through which there are forces and curvatures in the nodes of the plate cells. At the first iteration, according to the previously obtained «moment-curvature» dependencies, new values of secant stiffnesses are determined and the total energy functional is compiled again and the process is repeated until the required accuracy is obtained. An example of calculating a rectangular reinforced concrete plate located on nine reinforced concrete columns under the action of a uniformly distributed load is given. The convergence in the plate deflections, the longitudinal forces in the columns, and the running moments is numerically studied.

**Key words:** plate, orthotropy, physical nonlinearity, moment-curvature relationship.

УДК 624.012.45 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.53.60

**В.И. ОБОЗОВ<sup>1</sup>**, д.т.н., проф., **А.Ф. БЕЛЯЕВ<sup>2</sup>**, инж. **<sup>1</sup>ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»)**, г. Москва; e-mail: obozov@yandex.ru, **<sup>2</sup>ООО «Проектное бюро «Крупный план»**, г. Москва; e-mail: ustie2012@gmail.com

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЙ ПО НОРМАМ РАЗЛИЧНЫХ СТРАН...53

Выполнен анализ методов расчета на сопротивляемость прогрессирующему обрушению конструкций зданий и сооружений по нормам различных стран. Отмечается сравнительно небольшой срок развития этого направления в теории сооружений. В результате анализа норм проектирования в разных странах установлено, что наиболее распространенным методом расчета на сопротивляемость прогрессирующему обрушению конструкций является рассмотрение (расчет) конструктивной системы здания с вышедшим из строя несущим элементом. То есть рассматривается следствие аварийного воздействия на объект. Важным моментом при этом является назначение нагрузок в аварийной ситуации. В нормах США, Eurocode приведены средние значения аварийных воздействий, в нормах Российской Федерации такие данные приведены в СП 296.1325800.2017. При проектировании объектов, к которым предъявляются требования расчетов на сопротивляемость прогрессирующему обрушению конструкций, рекомендуется выполнять три типа расчетов: расчет на эксплуатационные нагрузки (проектная ситуация); расчет неповрежденной конструктивной системы объекта на эксплуатационные нагрузки в сочетании с аварийным воздействием; если второй расчет приводит к выходу из строя одного или более из несущих элементов, необходима проверка устойчивости измененной конструктивной системы объекта.

**Ключевые слова:** здание, сооружение, конструкции, метод расчета, прогрессирующее обрушение, сопротивляемость, аварийное воздействие, нормы.

UDC 624.012.45 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.53.60. **THE ANALYSIS OF CALCULATION METHODS FOR RESISTANCE TO THE PROGRESSIVE COLLAPSE OF**

**THE STRUCTURES OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN ACCORDANCE WITH THE NORMS OF DIFFERENT COUNTRIES.** V.I. Obozov1, A.F. Belyaev2, I

Koucherenko TSNIISK, Moscow; e-mail: obozov@yandex.ru, 2 LLC "Architectural Bureau KPLN", Moscow; e-mail: ustie2012@gmail.com.

**Abstract.** A relatively short period of development of this direction in the theory of structures is noted. As a result of the analysis of design standards in different countries, it was found that the most common method of calculating the resistance to progressive collapse of structures is to consider (calculate) the structural system of a building with a failed load-bearing element. That is, the consequence of the accidental impact on the object is considered. An important point in this case is the appointment of loads in an emergency. The US and Eurocode standards show the average values of emergency impacts, in the norms of the Russian Federation such data are given in SP 296.1325800.2017. It is recommended that when designing objects, which are required to perform calculations of resistance to progressive collapse of structures, perform three types of calculations: calculation of operational loads (design situation); Calculation of undamaged structural system of the facility for operational loads in combination with emergency exposure; if the second calculation leads to the failure of one or more of the bearing elements, it is necessary to check the stability of the modified structural system of the object.

**Key words:** building, structure, structures, calculation method, progressive collapse, resistance, emergency impact, norms.

УДК 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.61.66

**С.А. СОЛОВЬЕВ**, к.т.н. **Вологодский государственный университет**; e-mail: ser6sol@yandex.ru

### АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ МНОЖЕСТВ И ВЕРОЯТНОСТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ...61

Важнейшей задачей при эксплуатации зданий и сооружений является объективная количественная оценка безопасности их эксплуатации. Одним из количественных показателей безопасности эксплуатации является надежность, мерой которой служит вероятность безотказной работы или вероятность отказа. В статье разработан подход к расчету надежности элементов строительных конструкций, когда часть случайных величин может быть описана известным вероятностным распределением, а другие случайные величины представлены некоторым подмножеством интервальных значений. Для статистического моделирования изменчивости интервальных случайных величин использованы положения теории случайных множеств. В статье представлены расчетные формулы для вычисления вероятностей безотказной работы элементов конструкций при любом известном вероятностном распределении. Алгоритм расчета надежности проиллюстрирован на численном примере расчета надежности стальной балки. Разработанный подход к оценке надежности элементов строительных конструкций может быть использован при расчете риска, оценке категории технического состояния и других задачах.

**Ключевые слова:** надежность, вероятность отказа, теория случайных множеств, интервальные параметры, безопасность, функции распределения.

UDC 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.61.66. **STRUCTURAL ELEMENTS RELIABILITY ANALYSIS BASED ON RANDOM SET THEORY AND PROBABILITY**

**DISTRIBUTIONS COMBINATION.** S.A. Solovyev, Volgograd state agrarian University; e-mail: ser6sol@yandex.ru

**Abstract.** The most important task in the buildings and structures operation is an objective quantitative assessment of the safety. One of the quantitative indicators of operational safety is a reliability which is measured by the failure probability or the probability of non-failure. The article develops the approach to the reliability analysis of structural elements in case when some random variables can be described by a known probability distribution and other random variables are represented by a subset of interval values. For statistical modeling of the variability of interval random variables, the provisions of the random sets theory are used. The article presents design equations for calculating the structural elements failure probability for any probability distribution function. The reliability analysis algorithm is illustrated by the numerical example of steel beam reliability analysis. The developed approach to the reliability analysis of structural elements can be used in the risk analysis, the category of technical condition assessing and other tasks.

**Key words:** reliability, failure probability, random set theory, interval parameters, safety, distribution functions.

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.67.76

**А.С. МАРУТЯН**, к.т.н., доц. **Филiaal Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске**; e-mail: al\_marut@rambler.ru

### ДВУТАВРОВЫЕ ГНУТОСВАРНЫЕ ПРОФИЛИ И РАСЧЕТ ИХ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ...67

Представлено новое техническое решение двутаврового гнутосварного профиля, выполненного из единой листовой заготовки. Его пояса изогнуты в виде треугольного очертания с прямым углом между наклонными гранями и замкнуты двумя сварными швами. Каждая из наклонных граней в поперечном сечении имеет форму половины круглого полукольца радиусом, равным высоте поясов и вдвое короче их ширины. Круглые очертания профиля увеличивают его ресурсы эксплуатации и запасы прочности. Двутавровый профиль может быть также с двойной стенкой и одним сварным швом. Практический интерес вызывает модификация профиля при одинаковых габаритах по ширине и высоте, когда его наклонные грани в поперечном сечении имеют форму круглого полукольца, а линия их сопряжения между собой совпадает с продольной осью. Приведен расчет оптимальных параметров тонкостенных сечений двутавровой формы с одиночной стенкой и двойной стенкой по приближенной методике, апробированной при оптимизации полуплюскооформленных профильных труб для ферменных и балочных конструкций. В качестве критерия оптимизации принят максимум момента сопротивления сечения в силовой плоскости несущей конструкции, что обеспечивает наибольший запас прочности на изгиб. По результатам расчета момент сопротивления сечения максимален, когда отношение габаритов по ширине и высоте составляет 1/14 у профиля с одиночной стенкой и 1/5,2 у профиля с двойной стенкой. Показан пример реализации двутаврового гнутосварного профиля с круглыми очертаниями в поясах на базе такого же профиля с поясами треугольной формы. Выполнен сравнительный анализ их расчетных параметров, основные результаты которого подтверждают перспективность применения двутавровых гнутосварных профилей новой модификации в несущих конструкциях зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** двутавры, гнутосварные профили, оптимизация сечений, расчет оптимальных параметров, стержневые конструкции, балочные конструкции.

UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.2.67.76. **I-BEAM BENT-WELDED PROFILES AND CALCULATION OF THEIR OPTIMAL PARAMETERS.** A.S.

Marutyany, Branch of North Caucasus Federal University in Pyatigorsk; e-mail: al\_marut@rambler.ru.

**Abstract.** The article presents a new technical solution of I-beam bent-welded profile made of a single sheet billet. Its chords are curved in a triangular shape with a right angle between the inclined faces and are closed by two welds. Each of the inclined faces in cross-section has the form of a half semicircle with the radius equal to the height of the chords and twice shorter of their width. The round shape of the profile increases its service life and durability. I-beam profile can also be with double wall and single weld. The article gives the calculation of optimal parameters of thin-walled sections of I-beam form with a single wall and a double wall according to the approximate method tested in the optimization of semi-flat profile pipes for truss and girder structures. The maximum moment of cross-section resistance in the force plane of the supporting structure is taken as the optimization criterion, which provides the greatest margin of bending strength. According to the calculation results the moment of resistance of section is maximal when the ratio of dimensions on width and height is 1/14, 21 at a profile with a single wall and is 1/5, 219 at a profile with a double wall. The example of realization of I-beam bent-welded profile with round outlines in chords on the basis of the same profile with chords of triangular form is shown. A comparative analysis of their design parameters is carried out, the main results of which confirm the prospects for the use of I-beam bent-welded profiles of a new modification in the bearing structures of buildings and structures.

**Key words:** I-beams, bent-welded profiles, optimization of sections, calculation of optimal parameters, rod structures, beam structures.

**№ 3 за 2020 год**

[Деформационные расчеты](#)

[Deformation calculations](#)

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.2.14

**С.В. БАКУШЕВ**, д.т.н., проф., **Пензенский государственный университет архитектуры и строительства**; e-mail: office@pguas.ru

### АПРОКСИМАЦИИ ДИАГРАММ ОБЪЕМНОГО $\sigma \sim \epsilon$ И СДВИГОВОГО $T \sim \Gamma$ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ДВУХ ОТРЕЗКОВ ПАРАБОЛ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ, А ТАКЖЕ ВОПРОСЫ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧКИ ИЗЛОМА НА КВАДРАТИЧНОМ ГРАФИКЕ. Показано, что при аппроксимации графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования при помощи двух отрезков парабол секущий модуль сдвига на первом участке является линейной функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объемного расширения-сжатия является линейной функцией первого инварианта тензора деформаций. Во втором участке диаграмм объемного и сдвигового деформирования секущий модуль сдвига является дробной (рациональной) функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объемного расширения-сжатия является дробной (рациональной) функцией первого инварианта тензора деформации. Абсцисса точки излома квадратичного графика находится из условия пересечения аппроксимирующих кривых с использованием итерационного алгоритма. В качестве примера рассмотрена задача построения аппроксимирующих парабол для диаграмм объемного и сдвигового деформирования, построенных по экспериментальным данным. Численные расчеты показали быструю сходимость итерационного алгоритма для определения абсциссы точки излома квадратичного графика как для объемного, так и для сдвигового деформирования. При этом квадратичные графики практически совпали с

исходными аппроксимируемыми кривыми. Исходя из предположения о независимости, вообще говоря, друг от друга диаграмм объемного и сдвигового деформирования, рассмотрены шесть основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома квадратичных диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Построение квадратичных физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. Результаты статьи могут найти применение при аппроксимации замыкающих уравнений для объемного и сдвигового деформирования квадратичными функциями для сплошных сред, описываемых математическими моделями с учетом как физической, так и геометрической нелинейности.

**Ключевые слова:** сплошная среда, объемное и сдвиговое деформирование, квадратичная аппроксимация, метод наименьших квадратов, физические уравнения.

UDC 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.2.14. APPROXIMATION OF DEFORMATION DIAGRAMS BY QUADRATIC FUNCTIONS. Bakushev S.V., The Penza state university of architecture and construction; e-mail: office@pguas.ru.

**Abstract.** We consider the approximation of volumetric  $\sigma \approx \varepsilon$  and shear  $T \approx \Gamma$  deformation diagrams using two segments of parabolas by least square method, as well as questions of determining the optimal location of the break point on a quadratic graph. It is shown that when approximating the graphs of volumetric and shear deformation diagrams using two segments of parabolas, the secant shear modulus in the first section is a linear function of the intensity of shear deformations; the secant modulus of volumetric expansion-contraction is a linear function of the first invariant of the strain tensor. In the second section of the volumetric and shear deformation diagrams, the secant shear modulus is a fractional (rational) function of the shear strain intensity; the secant modulus of volumetric expansion-contraction is a fractional (rational) function of the first invariant of the strain tensor. The abscissa of the break point of the quadratic graph is determined out of the condition of approximating curves intersection with the use of an iterative algorithm. As an example, the problem of constructing approximating parabolas for volumetric and shear deformation diagrams constructed with experimental data is considered. Numerical calculations showed fast convergence of the iterative algorithm for determining of the break point abscissa of a quadratic graph, both for volumetric and shear deformation. In this case, the quadratic graphs practically coincided with the initial approximated curves. Based on the assumption of independence of volumetric and shear deformation diagrams from each other, six main cases of physical dependences are considered, depending on relative position of break points of the quadratic volumetric and shear deformation diagrams. The construction of quadratic physical dependencies is based on the calculation of secant moduli of volumetric and shears deformation. The results of the present article can be applied in approximation of closing equations for volumetric and shear deformation by quadratic functions for continuum, described by mathematical models regarding both physical and geometrical nonlinearity.

**Key words:** continuum, volumetric and shear deformation, quadratic approximation, least square method, physical equations.

УДК 624.35 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.15.19

**М.Н. КИРСАНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф., В.М. ОВСЯНИКОВА, студентка, НИУ МЭИ; e-mail: mpei2004@yandex.ru**

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОГИБА БАЛОЧНОЙ ФЕРМЫ В СИСТЕМЕ MAPLE...15**

**Цель.** Плоская статически определимая симметричная ферма с восходящими раскосами и крестообразным соединением частей в середине загружена равномерной нагрузкой по узлам верхнего пояса. Очертание верхнего пояса трапециевидное – крайние панели скошены. Находится зависимость прогиба (вертикальное смещение середины пролета) от числа панелей. **Метод.** Усилия в стержнях определяются по программе в системе символьной математики Maple на основе метода вырезания узлов. Уравнения равновесия всех узлов, в которые входят и реакции опор, решаются в матричном виде с использованием метода обратной матрицы, что сокращает время счета и делает программу более гибкой к смене нагрузки. Прогиб фермы с заданным числом панелей находится по формуле Максвелла–Мора с учетом равенства жесткостей всех стержней. Далее последовательные решения при разных числах панелей обобщаются методом индукции. Применяются операторы Maple для составления и решения рекуррентных уравнений для коэффициентов искомой формулы. Для получения результата потребовалось проанализировать двенадцать ферм. **Результаты.** Получена формула с коэффициентами полиномиального вида степени не выше четвертой. Построены графики решения при разных значениях параметров задачи. Некоторые графики обнаруживают экстремальные точки, позволяющие оптимизировать ферму для увеличения ее жесткости. Выявлена асимптотика решения. Найдена зависимость смещения опоры от числа панелей.

**Ключевые слова:** балочная ферма, прогиб, Maple, индукция, число панелей, асимптотика.

UDC 624.35 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.15.19. ANALYTICAL CALCULATION OF GIRDER DEFLECTION IN THE MAPLE SYSTEM. M.N. Kirsanov, V. M.

Ovsyannikova, National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia; e-mail: mpei2004@yandex.ru

**Abstract.** A planar statically definable symmetrical truss with ascending struts and a cruciform junction of parts in the middle is loaded with a uniform load at the nodes of the upper belt. The outline of the upper belt is trapezoidal – the extreme panels are beveled. We are looking for the deflection dependence (vertical displacement of the middle of the span) from the number of panels. **Method.** The forces in the rods are determined by a program written in the Maple symbolic mathematics system based on the node-cutting method. The equilibrium equations of all nodes, which include the reaction of the supports, are solved in matrix form using the inverse matrix method, which reduces the counting time and makes the program more flexible to change the load. The deflection of a truss with a given number of panels is determined by the Maxwell-Mohr's formula, taking into account the equality of the stiffness of all the rods. Further, successive solutions for different numbers of panels are generalized by induction. Maple operators solve and rgl\_findrecur are used for composing and solving recurrent equations for coefficients of the desired formula. To get the result, it was necessary to analyze twelve trusses. **Results.** A formula with coefficients of the polynomial form of degree no higher than the fourth is obtained. Graphs of the solution are constructed for different values of the problem parameters. Some graphs detect extreme points that allow you to optimize the truss to increase its stiffness. The asymptotic behavior of the solution is revealed.

**Key words:** girder, deflection, Maple, induction, number of panels, asymptotics.

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.20.25

**С.В. БОСАКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., проф., О.В. КОЗУНОВА<sup>2</sup>, к.т.н., доц. <sup>1</sup>РУП «Институт БелНИИС», г.Минск, <sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г.Гомель, Республика Беларусь; e-mail: sevibo@yahoo.com**

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ РАСЧЕТА СЕТЧАТЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ...20**

Разработана методика расчета сетчатых плит на упругом основании, моделированном упругим полупространством, под действием внешней нагрузки. Из истории развития расчета конструкций на упругом основании видно, что методы их расчета совершенствовались и уточнялись по мере развития научно-технического прогресса. Это можно проследить на различных моделях упругого основания, которыми моделировались реальные грунты в естественном залегании или в искусственном основании при постановке принципиально новых задач расчета конструкций. Разнообразие практических задач приводит к неоднозначному моделированию упругого основания. Авторы ссылаются на работы Тарасевича А.Н., Козуновой О.В. и Семенюка С.Д., в которых приведен обширный систематизированный обзор моделей упругого основания для расчета фундаментных балок, балочных и фундаментных плит, а также для расчета перекрестных лент фундаментов мелкого заложения. Актуальность и своевременность предлагаемой работы в том, что вопросы расчета сетчатых плит и системы перекрестных лент на упругом основании до настоящего времени не исследованы в полной мере. Авторам известны работы М.И. Горбунова-Посадова, И.А. Симвулиди, Г.Я. Попова, С.Д. Семенюка, Клепикова С.Н., в которых различными подходами проведены исследования по расчету сетчатых плит и пространственных монолитных фундаментов как системы перекрестных лент на упругом основании. Предлагаемая методика основана на вариационном методе Ритца и смешанном методе строительной механики с использованием функций влияния Жемочкина. Для определения коэффициентов канонических уравнений и свободных членов смешанного метода строительной механики через способ Жемочкина в расчете используются соотношения прогибов с защемленной в центре плиты нормалью. Численная реализация нового подхода выполнена на примере симметрично нагруженной равномерно-распределенной нагрузкой прямоугольной фундаментной плиты с отверстиями на упругом полупространстве. Приводятся графические результаты расчета для осадок сетчатой плиты и распределения контактных напряжений под плитой.

**Ключевые слова:** сетчатая плита, упругое основание, упругое полупространство, вариационный метод Ритца, способ Жемочкина, смешанный метод строительной механики, функции влияния, осадки, контактные напряжения под плитой.

UDC 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.20.25. THE DEVELOPMENT OF THE THEORY OF CALCULATION OF MESH PLATES ON AN ELASTIC BASE. S.V.

BOSAKOV<sup>1</sup>, O.V. KOZUNOVA<sup>2</sup>, <sup>1</sup>RUE Institute BelNIIS, Minsk, <sup>2</sup>Educational institution «Belarusian State Transport University», Gomel, Republic of Belarus; e-mail:

sevibo@yahoo.com

**Abstract.** A method for calculating mesh plates on an elastic base modeled by an elastic half-space under the influence of an external load has been developed. The methodology is based on the Ritz variational method and the mixed method of structural mechanics using the influence functions of Zhemochkin. To determine the coefficients of the canonical equations and the free terms of the mixed method of structural mechanics through the Zhemochkin method, the calculation uses the ratio of deflections with the normal pinched in the center of the plate. Graphical calculation results are given for the precipitation of the mesh plate and the distribution of contact stresses under the plate.

**Key words:** mesh plate, elastic base, elastic half-space, Ritz variational method, Zhemochkin method, mixed method of structural mechanics, influence functions, precipitation, contact stresses under the plate.

УДК: 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.26.31

**А.С. ЧЕПУРЕНКО<sup>1</sup>, к.т.н., С.В. ЛИТВИНОВ<sup>1</sup>, к.т.н., С.Б. ЯЗЫЕВ<sup>1</sup>, к.т.н., Л.С. САБИТОВ<sup>2,3</sup>, к.т.н. <sup>1</sup>Донской государственный технический университет; <sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет; <sup>3</sup>Казанский государственный энергетический университет; e-mail: anton\_chepurnenk@mail.ru.**

**УТОЧНЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ НОРМАЛЬНОМ ОТРЫВЕ...26**

Рассматривается задача ползучести адгезионного соединения двух дисков, представленная ранее в работе профессора А.С. Фрейдина и профессора Р.А. Турусова. Показано, что построенная ими модель на основе метода контактного слоя не учитывает сдвиговые деформации ползучести адгезива. Получено откорректированное разрешающее уравнение и граничные условия относительно касательных напряжений в пограничном слое. Представлено решение задачи для двух алюминиевых дисков, склеенных эпоксидной смолой ЭДТ-10, с использованием в качестве закона ползучести нелинейного уравнения Максвелла–Гуревича. Вычисления выполнялись численно при помощи разработанной авторами программы в среде Matlab. Установлено, что максимальные касательные напряжения в адгезиве во времени возрастают, но их рост носит ограниченный характер. Пренебрежение сдвиговыми деформациями ползучести приводит к заниженным напряжениям в конце процесса. Путем анализа закона ползучести при времени, стремящемся к бесконечности, выведены величины длительного модуля упругости и длительного коэффициента Пуассона и подтверждена достоверность полученных результатов.

**Ключевые слова:** ползучесть, адгезионные соединения, метод контактного слоя, длительная прочность.

УДК: 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.26.31. CLARIFICATION OF THE SOLUTION TO THE PROBLEM OF THE ADHESIVE BOND LONGTERM STRENGTH ON NORMAL SEPARATION. A.S. Chepurnenk<sup>1</sup>, S.V. Litvinov<sup>1</sup>, S.B. Yazyev<sup>1</sup>, L.S. Sabitov<sup>2, 3</sup>, 1 Don State Technical University, department «Technical Mechanics», 2 Kazan Federal

University; e-mail: anton\_chepurnenk@mail.ru

**Abstract.** We consider the creep problem of the adhesive bond of two disks, presented earlier in the work of Professor A.S. Freidin and Professor R.A. Turusov. It is shown that the model they constructed on the basis of the boundary layer method does not take into account shear creep deformations of the adhesive. The solution of the problem is presented for two aluminum disks glued with EDT-10 epoxy adhesive using the non-linear Maxwell-Gurevich equation in differential form as the creep law. The calculations were performed numerically using a program developed by the authors in the Matlab environment. It was found that the maximum tangential stresses in the adhesive increase with time, but their growth is limited. Neglect of shear creep deformations leads to underestimated stresses at the end of the process. By analyzing the creep law with time tending to infinity, the values of the long-term elastic modulus and long-term Poisson's ratio are derived and the reliability of the results obtained is confirmed.

**Key words:** creep, adhesive bond, contact layer method, long-term strength.

УДК 624.154 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.32.36

**В.С. УТКИН, д.т.н., проф., Инженерно-строительный институт Вологодского государственного университета; e-mail: utkinvogtu@mail.ru**  
**РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С УШИРЕНИЕМ С УЧЕТОМ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ СИЛ ТРЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ...32**

Буроабивные сваи с уширением в нижней части получили широкое применение в свайных основаниях. Эти сваи рассчитываются по первой и второй группам предельных состояний. В работе рассматривается расчет буроабивных свай с уширением на нижнем конце на определение ее несущей способности по несущей способности грунта основания фундамента при уточненной расчетной схеме. Приведена информация о расчете буроабивной сваи с уширением по существующим нормам СП 24.13330.2011, по которым значение силы трения сцепления на боковой поверхности сваи находится при ее «срыве» (движении). Т. к. сваи в фундаменте неподвижны, то значение предельной нагрузки на сваю, определенное расчетом по СП, приходится уменьшать без учета многообразия зданий по назначению. В связи с этим в предлагаемой работе приведено описание нового метода расчета сваи с уширением на нижнем конце, когда она находится в состоянии покоя под нагрузкой, что соответствует реальным условиям ее работы в основаниях фундаментов без срыва, а также вводится новое представление возникновения сил трения сцепления по боковой поверхности сваи и ее работы в грунте основания. Кроме этого учитываются в расчетах несущей способности сваи отрицательные силы трения сцепления на нижней части сваи, которые не учитываются в расчетах по СП 24.13330.2011. Обращено внимание на снижение эффективности работы уширения в нижней части сваи из-за увеличения отрицательных сил трения сцепления. Приведены числовые примеры расчетов свай по предлагаемому методу, а также существующему методу расчета сваи по СП 24.13330.2011 для сравнения результатов расчетов и оценки достоверности получаемых результатов по предлагаемому методу. Приведена расчетная формула для определения несущей способности буроабивной сваи с уширением по несущей способности грунта основания.

**Ключевые слова:** буроабивная свая с уширением, силы трения сцепления, несущая способность грунта, несущая способность сваи, предельная нагрузка, отрицательные силы трения.

UDC 624.154 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.32.36. **CALCULATION OF BEARING CAPACITY OF DRILLING PILES WITH WIDENING TAKING INTO ACCOUNT NEGATIVE FRICTION CLUTCH FORCES.** V.S. UTKIN, doctor of technical Sciences, professor, Department of industrial and civil engineering, Institute of civil engineering, Vologda state University; e-mail: utkinvogtu@mail.ru.

**Abstract:** Bored piles with under-ream at the pile tip have been widely used in piles foundations. These piles are designed by the first and second groups of limit states. The article describes the design of bored piles with under-ream at the pile lower end to evaluate pile bearing capacity by the bearing capacity of the soil base on the refined design scheme. The article also presents information about the bored pile with under-ream design according to existing standard SP 24.13330.2011 on which value of friction force on a lateral surface estimated by the pile «failure» (movement). The ultimate load value on the pile according to SP 24.13330.2011 is reduced without taking into account the diversity of structures for their intended purpose, which reduces its significance and reliability. In this regard, the proposed article describes the new approach of pile with the under-ream design when it is at «rest» under load, which corresponds to the real conditions of its behavior in the soil base without «failure», but also takes into account the new view of emergence of a friction on the lateral surface of the pile with a more accurate description of its behavior. In addition, the evaluation of the pile bearing capacity takes into account the negative friction forces on pile tip, which are not taken into account in the design by SP 24.13330.2011. Attention is drawn to the decrease in the efficiency of the under-ream in the pile lower part to the increase the negative friction force. Numerical examples of pile design are given according to the proposed method, as well as the existing method by SP 24.13330.2011. The results of calculations and reliability analysis are given according to the proposed method. The design equation for evaluation the bearing capacity of a bored pile with underream is given for the soil base bearing capacity.

**Key words:** Drilling pile with widening, friction-coupling forces, bearing capacity of soil, bearing capacity of pile, limit load, negative friction forces.

УДК 69:624.074:624.012.4 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.37.46

**В.Н. ИВАНОВ, д.т.н., проф., О.О. АЛЁШИНА, аспирантка Российский университет дружбы народов, г. Москва; e-mail i.v.ivn@mail.ru**  
**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОРСА С НАПРАВЛЯЮЩИМ ЭЛЛИПСОМ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА...37**

На сегодняшний день в сфере проектирования тонкостенных конструкций типа оболочек представлен обширный класс вычислительных комплексов и методов расчета. В связи с тем, что тонкостенные конструкции в форме различных оболочек широко используются в архитектуре, строительстве, машиностроении, авиастроении и т. д., необходимо знать и понимать возможности различных методов расчета, включая аналитические. Работы по исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) оболочек одинакового ската с направляющим эллипсом в основании представлены на сегодняшний день в малом объеме. В статье приводится сравнение результатов, полученных по безмоментной теории оболочек с результатами по методу конечных элементов и по вариационно-разностному методу. Используются вычислительный комплекс SCAD Office на основе метода конечных элементов и программа «SHELLVRM», написанная на базе вариационно-разностного метода. Благодаря полученным и проанализированным численным результатам напряженно-деформированного состояния (НДС) торсовой оболочки одинакового ската с направляющим эллипсом в основании выявлены плюсы и минусы применения различных методов расчета. Установлено, что безмоментная теория не позволяет получить достаточные и корректные результаты расчета при действии равномерно-распределенной линейной нагрузки, приложенной по касательной к верхней грани торса по сравнению с методом конечных элементов (МКЭ) и с вариационно-разностным методом (ВРМ) для конструирования и подбора материала для изготовления оболочки.

**Ключевые слова:** теория тонких оболочек, аналитическое решение, безмоментное состояние, торсовая оболочка, поверхность одинакового ската, геометрическое моделирование, вычислительный комплекс SCAD OFFICE, метод конечных элементов, вариационно-разностный метод.

UDC 69:624.074:624.012.4 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.37.46. **COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE'S PARAMETERS OF EQUAL SLOPE SHELL WITH THE DIRECTOR ELLIPSE USING THREE CALCULATION METHODS.** V.N. Ivanov, O.O. Alyoshina, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow; e-mail i.v.ivn@mail.ru.

**Abstract.** Today, in the field of designing thin-walled structures of the shell type, an extensive class of computing complexes and calculation methods is presented. Due to the fact that thin-walled structures in the form of various shells are widely used in architecture, construction, engineering, aircraft construction, etc. it is necessary to know and understand the possibilities of various calculation methods, including analytical ones. Research on the stress-strain state of the equal slope shell with the director ellipse at the base is currently presented in a small volume. The article presents a comparison of the results obtained from the membrane theory with the results obtained from the finite element method and the variational-difference method. We use the SCAD Office computing system based on the finite element method and the program «SHELLVRM», written on the basis of the variation-difference method. Based on the obtained and analyzed numerical results of the stress-strain state of the equal slope shell with the director ellipse at the base, the pros and cons of using various calculation methods were revealed. It is established that the membrane theory does not allow obtaining sufficient and correct calculation results under the action of a uniformly distributed linear load applied tangentially to the upper face of the torso in comparison with the finite element method and with the variation-difference method for the design and selection of material for the manufacture of the wall.

**Key words:** theory of thin shells, analytical method, the membrane state, torso shell, equal slope shell, geometric modeling, computational complex SCAD OFFICE, finite element method, variational-difference method.

[Расчеты на устойчивость](#)

[Stability calculation](#)

УДК: 624.046.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.47.55

**Е.И. БРИТВИН, канд. физ.-мат. наук, ГУВЗ ПСАА, г. Днепрпетровск, Украина; e-mail: evgbritvin@gmail.com**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТРЕХМЕРНЫХ УПРУГИХ ТЕЛ НА КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЯХ...47**

Путем учета работы внутренних напряжений упругого тела на повороте элементарного объема получены уравнения состояния трехмерного упругого тела Ламе с учетом вращений в линейной постановке. Построена матрица жесткости тетраэдрического конечного элемента с учетом влияния внутреннего напряженного состояния. Математическая модель проверена на простых конечно-элементных моделях, имеющих надежное аналитическое подтверждение. На примере консольного стержня исследованы изгибная и крутильная формы потери устойчивости конечно-элементной модели. Рассмотрена устойчивость круглой пластины. Продемонстрировано хорошее совпадение с известными решениями. Приведены решения некоторых задач устойчивости для полого шара.

**Ключевые слова:** устойчивость, устойчивость трехмерных тел, метод конечных элементов, тетраэдрический конечный элемент.

UDC: 624.046.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.47.55. **STABILITY ANALYSIS OF THREE-DIMENSIONAL ELASTIC BODIES ON FINITE-ELEMENT MODELS.** E.I. Britvin, PSACEA, Dnipro, Ukraine; e-mail: evgbritvin@gmail.com

**Abstract.** By taking into account the work of the internal stresses of an elastic body at the rotation of an elementary volume, the equations of state of a three-dimensional elastic body of the Lamé type are obtained. The equations of state of a three-dimensional elastic body are obtained taking into account rotations in a linear formulation. The stiffness matrix of the tetrahedral finite element is constructed taking into account the influence of the internal stress state. The mathematical model is tested on simple finite element models with reliable analytical confirmation. By the example of a cantilever rod, the bending and torsional forms of loss of stability of the finite element model are studied. The stability of a round plate is considered. Demonstrated a good match with the known solutions. Solutions of some stability problems for a hollow sphere are given.

**Key words:** buckling, stability of three-dimensional bodies, finite element method, tetrahedral finite element.

[Расчеты на надежность](#)

[Reliability calculation](#)

УДК 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.56.61

**С.А. СОЛОВЬЕВ, к.т.н., Вологодский государственный университет; e-mail: ser6sol@yandex.ru**  
**АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ...56**

Вероятность отказа элемента сооружения является количественным показателем его надежности. В статье представлен метод расчета надежности элементов строительных

конструкций в случае интервальной оценки случайных (стохастических) параметров в математической модели предельного состояния. Часть случайных параметров имеет прямую интервальную оценку, а другая часть случайных параметров получает интервальную оценку при представлении их в виде нечетких переменных по результатам измерений/испытаний. Такой подход к анализу надежности позволяет отказаться от субъективных предположений о виде и форме функции распределения вероятностей при ограниченной статистической информации. Показана возможность использования интервального подхода при нелинейных зависимостях случайных величин в функции предельного состояния. Численный пример расчета надежности по предлагаемому подходу показал хорошую сходимость с классическим подходом при полной статистической информации.

**Ключевые слова:** надежность, вероятность отказа, интервал значений, проектирование, теория нечетких множеств, случайная величина.

UDC 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.62.61. **STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS BASED ON INTERVAL ESTIMATION OF RANDOM VARIABLES.** S.A. Solov'yev, Volgograd State University; e-mail: ser6sol@yandex.ru.

**Abstract.** The failure probability of a structural element is an indicator of its reliability. The article presents a method for the structural reliability analysis in the case of interval estimation of random (stochastic) parameters in a mathematical model of a limit state. Part of the random parameters has direct interval estimations, and the other part of the random parameters receives interval estimations as a fuzzy variable based on the results of measurements/tests. This approach to reliability analysis allows rejecting subjective assumptions about the type and shape of the probability distribution function with limited statistical information. The paper also presents the possibility of using proposed approach for nonlinear limit state functions. The numerical example of reliability analysis based on the proposed approach showed good convergence with the classical approach (FOSM) with full statistical data.

**Key words:** reliability, failure probability, interval value, structural design, fuzzy set theory, random variable.

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.62.67

**А.И. Шенин, д.т.н., А.В. Чуманов, аспирант ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»; e-mail: shein-ai@yandex.ru**  
**ЛЕНТОЧНАЯ СИСТЕМА ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЛОКАТОРА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ...62**

Представлена ленточная система гашения колебаний локатора при сейсмических воздействиях. При проектировании системы гашения учитывались основные формы собственных колебаний локаторов купольного типа – изгибные и крутильные. Описан алгоритм работы системы гашения колебаний, основанный на дифференциальном уравнении колебаний системы с учетом сил натяжения лент и сил сопротивления движению в катушках. Составлена программа динамического расчета механических систем купольного типа, в основу которой положен метод центральных разностей. Приведены результаты расчета, которые показывают высокую эффективность ленточной системы гашения колебаний.

**Ключевые слова:** ленточная система, гаситель колебаний, динамический расчет, колебания купола, сейсмическая нагрузка, демпфирование, инерционная катушка.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.62.67. **TAPE SYSTEM FOR QUENCHING LOCATOR VIBRATIONS IN CASE OF SEISMIC EFFECTS.** A.I. Shein, A.V. Chumanov, Penza State University of Architecture and Construction; e-mail: shein-ai@yandex.ru

**Abstract.** The paper presents a tape system for quenching locator vibrations under seismic influences. When designing the damping system, the main forms of natural vibrations of dome – type locators-bending and torsional-were taken into account. The described algorithm of the system damping based on the differential equation of oscillations of a system subject to forces of tension of the tapes and the motion resistance forces in the coils, a program of the dynamic analysis of mechanical systems dome, which was based on the method of Central differences. The results of the calculation are presented, which show the high efficiency of the belt vibration damping system.

**Key words:** belt system, vibration dampener, dynamic calculation, dome vibrations, seismic load, damping, inertia coil.

[Нормирование](#)

[Codefication](#)

УДК: 624.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.68.77

**П.Д. ОДЕССКИЙ, д.т.н., проф., И.И. Ведяков, д.т.н., проф., Д.В. КОНИН, к.т.н., М.И. ГУКОВА, к.т.н., М.И. ФАРФЕЛЬ, к.т.н., ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: vedykov@gmail.com**

**ИЗМЕНЕНИЯ №2 В СП 16.13330.2017 «СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ»...68**

В помощь проектировщикам приведены и обоснованы внесенные в 2020 году Изменения №2 в СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». В состав Изменений №2 вошли 15 разделов и Приложения А, В, Г, Д и Ж. В состав свода правил по стальным конструкциям включены соответствующие ссылки на своды правил по проектированию сталежелезобетонных конструкций и конструкций из тонкостенных холодногнутых профилей. Уточнено важное определение, поясняющее термин «открытые конструкции» для предотвращения двойного толкования при проектировании общественных зданий и сооружений в части необходимости обеспечения доступа. В разделе 13 «Проектирование стальных конструкций с учетом предотвращения хрупкого разрушения» уточнены факторы риска в зависимости от группы конструкций по СП 16.13330 и от класса сооружений по ГОСТ 27751, в которых применен прокат, соответствующий требованиям его группы качества. Наиболее значимыми являются изменения, внесенные в раздел 15 к требованиям по проектированию конструкций зданий и сооружений, включающие требования к соединениям стальных конструкций. В частности, даны развернутые требования к проектированию фланцевых болтовых соединений. В Приложение по материалам строительных конструкций внесены уточнения в части использования новых сталей, уточнены требования по нормированию ударной вязкости, в том числе для сталей с пределом текучести более 590 МПа. Ниже приводятся конкретные изменения по главам СП с пояснениями.

**Ключевые слова:** сталь, стальная конструкция, несущая способность, жесткость, каркас, ферма, ригель, болт, горизонтальная связь, болтовое соединение, фланцевое соединение, прокат, труба, ударная вязкость.

UDC: 624.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.68.77. **CHANGES №2 IN SP 16.13330.2017 «STEEL STRUCTURE. DESIGN STANDARDS»** P.D. Odesskii, I.I. VEDYAKOV, D.V. KONIN, M.I. GUKOVA, M.I. FARFEL, TSNISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Stroitelstvo» Research Center of Construction, Moscow; e-mail: vedykov@gmail.com.

**Abstract.** The Changes №2 made in 2020 in SP 16.13330.2017 «Steel structures» are given and justified to help designers. Changes №2 included 15 sections and Appendices A, B, C, D, and G. The code of rules for steel structures includes relevant references to the codes of rules for the design of steel-reinforced concrete structures and structures made of thin-walled cold-curved profiles. An important definition has been clarified that explains the term «open structures» to prevent double interpretation in the design of public buildings and structures in terms of the need for access. In section 13 «Design of steel structures with regard to the prevention of brittle destruction» specified risk factors depending on the group structures on SP 16.13330 and class structures according to GOST 27751, which applied roll that meets the requirements of its quality group. The most significant are the changes made to section 15 to the requirements for the design of structures of buildings and structures, including requirements for joints of steel structures. In particular, detailed requirements for the design of flange bolted connections are given. The Appendix on materials of building structures contains clarifications regarding the use of new steels, as well as requirements for the normalization of impact strength, including for steels with a yield strength of more than 590 MPa. Specific changes to the JV chapters are listed below with explanations.

**Key word:** steel, steel structure, bearing capacity, stiffness, frame, truss, crossbar, bolt, horizontal connection, bolted connection, flanged connection, rolled, pipe, impact strength.

**№ 4 за 2020 год**

**100 лет со дня рождения Якова Федоровича Хлебного...2**

100 years since the birth of Yakov Fedorovich Khlebnyy...2

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 620.179.142 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.3.7

**В.Ф. НОВИКОВ<sup>1</sup>, д-р физ.-матем. наук, проф., С.М. КУЛАК<sup>1</sup>, к.т.н., В.О. АНДРЕЕВ<sup>2</sup>, к.т.н., <sup>1</sup>Тюменский индустриальный университет, <sup>2</sup>ООО «Тюменьстальмост имени Тюменского Комсомола»; e-mail: vityalynovikov2017@yandex.ru**

**О КОНТРОЛЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ (МОСТ) МЕТОДОМ МАГНИТОУПРУГОГО РАЗМАГНИЧИВАНИЯ...3**

В работе проведены исследования плоского напряженного состояния балок автомобильного моста магнитным методом, основанным на корреляционной зависимости остаточной намагниченности и механических напряжений стали (метод магнитоупругого размагничивания). В ходе исследований установлено ослабление магнитного поля рассеяния локальной остаточной намагниченности балок моста при их растяжении деформацией изгиба. По убыванию магнитного поля проведена оценка пиковых напряжений в мостовых балках от динамического воздействия транспорта и установлено их неоднородное нагружение. Изготовлено и апробировано устройство для локального намагничивания контролируемой балки автомобильного моста и дозированного удара по ней. Такое устройство, обеспечивающее поперечное к рабочим нагрузкам воздействие, позволило определить магнитоупругую чувствительность стали непосредственно в месте контроля напряжений, а следовательно, и повысить точность применяемого метода.

**Ключевые слова:** механические напряжения в стали, магнитоупругая чувствительность, мостовая балка, магнитное поле рассеяния, магнитоупругое размагничивание, динамические нагрузки.

UDC 620.179.142 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.3.7. **ABOUT CONTROL OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF STEEL BRIDGE STRUCTURES (BRIDGE) BY THE METHOD OF MAGNETOELASTIC DEMAGNETIZATION.** V.F. Novikov<sup>1</sup>, S.M. Kulak<sup>1</sup>, V.O. Andreev<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Industrial University of Tyumen (Tyumen city, Russian Federation), <sup>2</sup>Tyumenstalmost LLC named after Tyumen Komsomol (Tyumen city, Russian Federation); e-mail: vityalynovikov2017@yandex.ru.

**Abstract.** The paper studies the plane-stress state of the beams of an automobile bridge using the magnetic method, based on the correlation dependence of the residual magnetization and mechanical stresses of steel (magnetoelastic demagnetization method). In the course of the studies, weakening of the magnetic field scattering of the local residual magnetization of the bridge beams when they are stretched by bending deformation was found. Based on the decrease in the magnetic field, the peak stresses in the bridge beams from the dynamic effects of transport were estimated and their inhomogeneous loading was established. A device for the local magnetization of a load-bearing beam of a road bridge and a dosed impact on it was manufactured and tested. Such a device, providing an impact transverse to the workloads, made it possible to determine the magnetoelastic sensitivity of steel directly in the place of stress control, and, consequently, to increase the accuracy of the method used.

**Key words:** mechanical stresses in steel, magnetoelastic sensitivity, bridge beam, scattering magnetic field, magnetoelastic demagnetization, dynamic loads.

УДК: 69.07, 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.8.17

**Д.В. КОНИН, к.т.н., П.В. НАХВАЛЬНОВ, инж., А.Р. ОЛУРОМБИ, инж. ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва; e-mail: konden@inbox.ru**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОБОЛТОВЫХ СДВИГУСТОЙЧИВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛЕЙ С ПРЕДЕЛОМ ТЕКУЧЕСТИ ДО 500 МПа...8**

Рассмотрены вопросы работы многоболтовых соединений элементов из сталей с пределом текучести свыше 375 МПа. Показана актуальность выбранной темы исследования. Представлены особенности работы многоболтовых соединений. Проведен анализ результатов экспериментальных исследований и численных расчетов. Представлен сравнительный анализ требований отечественных и зарубежных нормативных документов. Установлено, что высокопрочные стали обладают достаточной пластичностью для



равномерной передачи нагрузок между болтами. Установлен резерв несущей способности при расчете по действующим нормативным документам. Проанализированы численные модели многоболтовых соединений.

**Ключевые слова:** многоболтовое соединение, трение соединение, срезное соединение, сдвигустойчивое соединение, высокопрочная сталь, пластические деформации.  
UDC: 69.07, 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.8.17. **RESEARCH OF MULTIPLE-BOLT SHEAR RESISTANT CONNECTIONS OF STEEL STRUCTURE ELEMENTS MADE OF STEELS WITH A YIELD STRENGTH OF UP TO 500 MPa.** D.V. Konin, P.V. Nakhvalnov, A.R. Olurombi, TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Stroitelstvo» Research Center of Construction, Moscow; e-mail: kondan@inbox.ru.

**Abstract.** The questions of operation of multiple-bolt connections of elements made of steel with a yield strength of more than 375 MPa are considered. The relevance of the chosen research topic is shown. The features of multiple-bolt connections are presented. The results of experimental studies and numerical calculations are analyzed. A comparative analysis of the requirements of domestic and foreign regulatory documents is presented. It is established that high-strength steels have sufficient plasticity for uniform transfer of loads between bolts. A reserve of load-carrying capacity has been established for calculations based on current regulatory documents. Numerical models of multiple-bolt connections are analyzed.

**Key words:** multiple-bolt connection, friction connection, shear connection, shear-resistant connection, high-strength steel, plastic strain.

УДК: 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.17.23

**М.И. ФАРФЕЛЬ, к.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО НИЦ «Строительство»)**

**ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДВУСКАТНОГО БЛОКА ИЗ МЕМБРАННЫХ ПАНЕЛЕЙ...17**

В работе описываются конструкции двускатного блока из мембранных панелей. Приводятся основные типы этих блоков, описывается их конструктивная схема.

Объясняются основные признаки эффективности систем, состоящих из мембранных панелей, в которых пролетная часть выполняется из тонкого стального листа (мембраны).

Указываются относительные жесткостные характеристики, от которых зависит работа двускатного блока из мембранных панелей. Основной частью данной работы является инженерная методика расчета покрытия в виде двускатных блоков из мембранных панелей. Приводятся формулы для определения внутренних усилий в наиболее напряженных сечениях контурных элементов. Инженерная методика рекомендуется для обоснования технических решений на стадии «Проект».

**Ключевые слова:** мембрана, опорный контур, бортовой элемент, карнизный элемент, коньковый элемент, мембранная панель, внутренние усилия, двускатный блок из мембранных панелей, относительные жесткостные характеристики, геометрическая нелинейность системы, эффективность мембранных (тонколистовых) конструкций.

UDC: 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.17.23. **ENGINEERING METHOD FOR CALCULATING A GABLE BLOCK MADE OF MEMBRANE PANELS.** M.I. Farfel, TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Stroitelstvo» Research Center of Construction, Moscow; e-mail: farfelmi@yandex.ru.

**Abstract.** The paper presents the construction of a gable block made of membrane panels. The main types of these blocks are given, and their design scheme is explained. The main features of efficiency of systems consisting of membrane panels, in which the span is made of a thin steel sheet (membrane), are given. The relative stiffness characteristics that affect the operation of the gable block of membrane panels are specified. The main part of this work is an engineering method for calculating the coating in the form of gable blocks made of membrane panels. The formulas for determining the internal stresses in the most stressed cross-sections of contour elements. Engineering method is recommended for substantiating technical solutions at the «Project» stage.

**Key words:** membrane, support contour, side element, cornice element, ridge element, membrane panel, internal forces, gable block of membrane panels, relative stiffness characteristics, geometric nonlinearity of the system, efficiency of membrane (thin-sheet) structures.

[Деформационные расчеты](#)

[Defomation calculation](#)

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.24.39

**С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru**

**Дифференциальные уравнения равновесия сплошной среды для плоской деформации в цилиндрических координатах при билинейной аппроксимации замыкающих уравнений (геометрически нелинейная модель)...24**

Рассматриваются вопросы построения дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях для плоского деформирования сплошных сред при билинейной аппроксимации замыкающих уравнений с учетом геометрической нелинейности в цилиндрической системе координат. Исходя из предположения о независимости, вообще говоря, друг от друга диаграмм объемного и сдвигового деформирования, рассмотрены шесть основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома билинейных диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Построение билинейных физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. При этом на первом участке диаграмм секущий модуль и объемного, и сдвигового деформирования постояен, во втором же как на втором участке диаграмм секущий модуль объемного деформирования является функцией объемной деформации, а секущий модуль сдвига является функцией интенсивности деформаций сдвига. Подставляя соответствующие билинейные физические уравнения в дифференциальные уравнения равновесия сплошной среды, записанные с учетом геометрической нелинейности, получили разрешающие дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для плоской деформации в цилиндрической системе координат. Полученные дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут найти применение при определении напряженно-деформированного состояния сплошных сред, находящихся в условиях плоского деформирования с учетом геометрической нелинейности, физические соотношения для которых аппроксимированы билинейными функциями.

**Ключевые слова:** сплошная среда, плоская деформация, цилиндрические координаты, дифференциальные уравнения равновесия, билинейные замыкающие уравнения, геометрически нелинейная модель.

UDC 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.24.39. **DIFFERENTIAL EQUATIONS OF BALANCED CONTINUUM FOR PLANAR DEFORMATION IN CYLINDRICAL COORDINATES AT BILINEAR APPROXIMATION OF CLOSING EQUATIONS (geometrically non-linear model).** S.V. Bakushev, The Penza state university of architecture and construction, e-mail: office@pguas.ru

**Abstract.** Under analysis, there are questions of differential displacements equilibrium equations construction of balanced continuum for one-dimension planar deformation of continuum at bilinear approximation of closing equations taking into account geometrical nonlinearity in cylindrical coordinate system. Assuming independence, generally speaking, from each other and volumetric deformation slip flow diagrams, addressed six major cases of physical dependency, dependent on the relative position of points of the jog bilinear charts volumetric and landslides deformation. Building bilinear physical dependencies based on the computation of volumetric modules section and slip flow deformation. While the first phase diagrams secant modulus and volumetric and landslides deformation is constant, while the second phase diagrams secant module volumetric deformation is a function of the volumetric strain, and secant shear modulus is shear deformation intensity function. While putting corresponding bilinear physical equations into differential equations of continuum balance, made taking into account geometrical nonlinearity, we got resolving differential balance equations at movements for one-dimensional planar deformation of continuum in cylindrical coordinate system. Received differential balance equations at the movements can be applied while determining strain-stress state of continuum at the condition of one-dimensional planar deformation taking into account geometrical nonlinearity, physical relations for which are approximated by bilinear functions.

**Key words:** Solid massive body, flat deformation, cylindrical coordinates, differential equations of equilibrium, trailing bilinear equations, geometrically non-linear model.

УДК 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.40.46

**В.В. МИЩЕНКО, инж. АО «КОНЦЕРН ТИТАН-2»; e-mail: mat\_c@mail.ru**

**ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ ЦЕПНОЙ ЛИНИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ГИБКОЙ НИТИ...40**

Представлено параметрическое уравнение цепной линии, на основании которого сформулирована основная задача подвеса гибкой нити в виде системы нелинейных уравнений, что позволяет решать задачи подвеса проводов и тросов ВЛ точным методом с использованием стандартных математических программ, например, Mathcad.

**Ключевые слова:** гибкая нить, методы расчета провода, цепная линия, провода и тросы, линия электропередачи.

UDC 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.40.46. **PARAMETRIC EQUATION FOR A CATENARY TO CALCULATE FLEXIBLE THREAD.** V.V. Mishchenko, CONCERN TITAN-2; e-mail: mat\_c@mail.ru

**Abstract.** Presented parametric equation of a catenary. The main problem of suspension of a flexible thread is formulated in the form of a system of nonlinear equations. That allows solve the task of wires power lines accurate method using a standard mathematical software, such as Mathcad.

**Key words:** flexible filament, the methods of calculation of the wire, catenary, wires and cables, power line.

[Динамические расчеты](#)

[Defomation calculation](#)

УДК 624.04:004 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.47.53

**В.Б. ЗЫЛЕВ, д.т.н., проф., А.В. ШТЕЙН, к.т.н., доц., Н.А. ГРИГОРЬЕВ, к.т.н. Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, e-mail: zylev@yandex.ru**

**ПРОХОЖДЕНИЕ ВОЛНОЙ СЖАТИЯ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ В ВИДЕ КРУГЛОГО ОТВЕРСТИЯ...47**

Работа посвящена задаче о прохождении волной сжатия области с круглым отверстием. Одной из целей работы является демонстрация возможностей явной вычислительной схемы интегрирования уравнений движения; конечно-элементная система большой размерности; экстраполяция по Адамсу; транспортные науки, принцип Сен-Венана. Исследуется сходимость искомых результатов при сгущении сетки. Максимальная размерность задачи составляет по элементам 3 000 000, причем использована равномерная сетка квадратных конечных элементов. Обсуждаются преимущества такого подхода при решении динамической задачи. Исследуется сходимость при уменьшении шага по времени. Практическим приложением исследований могут являться строительные и транспортные объекты, например, тоннели при прохождении сейсмических волн. Рассматривается возможность распространения результатов решения подобной задачи на геометрически подобную систему путем использования свойств механического подобия. Путем численного решения показывается, что для рассмотренной задачи в определенной степени выполняется принцип Сен-Венана.

**Ключевые слова:** волна сжатия в упругой среде; концентратор напряжений; круглое отверстие; численное решение, квадратные конечные элементы; принципы механического подобия; явная схема интегрирования уравнений движения; конечно-элементная система большой размерности; экстраполяция по Адамсу; транспортные науки, принцип Сен-Венана.

UDC 624.04:004 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.47.53. **THE PASSAGE OF A COMPRESSION WAVE OF A STRESS CONCENTRATOR IN THE FORM OF A CIRCULAR HOLE.** V.B. Zylev, A.V. Shteyn, N.A. Grigoryev, The Russian University of Transport (MIIT), г. Москва, e-mail: zylev@yandex.ru.

**Abstract.** The article is devoted to problem about compressive wave's passage of area with circular hole. There is one of the goals of this work is demonstrating possibilities of explicit computational scheme of integration of equations of motion with extrapolation by Adams. The plane-strain condition for linear elastic material was considered. The convergence of results when the mesh is thickened and decreasing time step was studied. The maximum dimension of the task is 3000000 by elements, and a uniform grid of square finite elements is used. The advantages of this approach when solving a dynamic problem are discussed. A practical application of research can be construction and transport objects, for example, tunnels during the passage of seismic waves. The possibility of extending the results of solving a similar problem to a geometrically similar system by using the properties of mechanical similarity is considered. By means of a numerical solution, it is shown that the Saint-Venant principle is fulfilled to a certain extent for the considered problem.

**Key words:** compression wave in an elastic environment; stress concentrator; circular hole; numerical solution, square finite elements; principles of mechanical similarity; explicit scheme for integrating equations of motion; finite element system of large dimension; Adams extrapolation; transport sciences, the principle of Saint-Venant.

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.54.60

**А.И. ШЕИН, д.т.н., А.В. ЧУМАНОВ, аспирант Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: shein-ai@yandex.ru**  
**КОЛЕБАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ...54**

В статье описывается алгоритм расчета колебаний стержневых систем методом конечных элементов с учетом физической и геометрической нелинейности. Учет физической нелинейности реализуется на основе кубической зависимости напряжений от относительной деформации элементов. Учет геометрической нелинейности производится за счет введения в расчет геометрической матрицы. Приведены результаты расчета в виде графиков перемещений узлов элемента локатора.

**Ключевые слова:** динамический расчет, колебания, физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, метод переменных параметров упругости, геометрическая матрица.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.54.60. **VIBRATIONS OF ROD SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT PHYSICAL AND GEOMETRIC NONLINEARITY.** A.I. Shein, A.V. Chumanov. Penza State University of Architecture and Construction; e-mail: shein-ai@yandex.ru

**Abstract.** The article describes an algorithm for calculating vibrations of rod systems by the finite element method, taking into account the physical and geometric nonlinearities. Accounting for physical non-linearity is implemented based on the cubic dependence of stresses on the relative deformation of elements. Geometric nonlinearity is taken into account by introducing a geometric matrix into the calculation. The calculation results are shown in the form of graphs of node movements of the locator element.

**Key words:** dynamic calculation, vibrations, physical nonlinearity, geometric nonlinearity, method of variable elasticity parameters, geometric matrix.

[Расчеты на устойчивость](#)

[Stability calculation](#)

УДК 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.61.66

**С.В. БОСАКОВ, д.т.н., проф. БНТУ, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: Sevibo@yahoo.com**

**СПОСОБ Б.Н. ЖЕМОЧКИНА В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕРЖНЕЙ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ...61**

В статье рассматривается задача об устойчивости стержня на произвольном упругом основании под действием сжимающей силы. Задача решается способом Ж.Н. Жемочкина. Коэффициенты при неизвестных усилиях в связях Б.Н. Жемочкина и при неизвестном угловом перемещении введенного защемления на конце стержня в системе канонических уравнений смешанного метода строительной механики записываются с учетом действия продольной силы в стержне. Задача сводится к решению однородной системы линейных алгебраических уравнений, определитель которой приравняется нулю. Корни определителя дают совокупность критических параметров, по которым находятся величины критических сил для стержня. Отдельно рассматривается случай жесткого стержня, для которого существует единственная форма потери устойчивости и для которого при основании Винклера известно точное решение. В этом случае выполняется проверка сходимости результатов при увеличении числа участков Б.Н. Жемочкина. Приводятся примеры определения критической силы для сжатого стержня на основании Винклера и упругом полупространстве.

**Ключевые слова:** устойчивость, упругое основание, способ Б.Н. Жемочкина, метод Ритца, критический параметр.

UDC 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.61.66. B.N. ZHEMOKHIN METHOD IN THE PROBLEMS OF STABILITY RODS ON AN ELASTIC BASE. S.V. Bosakov, BNTU, RUE «Institute BelNIIS», Minsk; e-mail: sevibo@yahoo.com

**Abstract.** The article deals with the problem of stability of a rod on an arbitrary elastic base under the influence of a compressive force. The problem is solved by the method of B.N. Zhemochkin. Coefficients for unknown forces in the bonds of B. N. Zhemochkin and for unknown angular displacement of the introduced pinching at the end of the rod in the system of canonical equations of the mixed method of structural mechanics are written taking into account the action of the longitudinal force in the rod. The problem is reduced to solving a homogeneous system of linear algebraic equations, the determinant of which is equal to zero. The roots of the determinant give a set of critical parameters that determine the values of the critical forces for the rod. Separately, we consider the case of a rigid rod for which there is a unique form of stability loss and for which the exact solution is known at the base of the Winkler. In this case, the system checks for the convergence of the results when increasing the number of stations B.N. Semochkina. Examples of determining the critical force for a compressed rod based on Winkler and elastic half-space are given.

**Key words:** stability, elastic Foundation, method B. N. Semochkina, the Ritz method, the critical parameter.

УДК: 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.67.71

**С.Б. ЯЗЫЕВ<sup>1</sup>, к.т.н., В.С. ЧЕПУРЕНКО<sup>1</sup>, студент, А.С. ЧЕПУРЕНКО<sup>1</sup>, к.т.н., Л.С. САБИТОВ<sup>2,3</sup>, к.т.н.** <sup>1</sup>Донской государственный технический университет; <sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет; <sup>3</sup>Казанский государственный энергетический университет; e-mail: serdariaziev@gmail.com

**РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ ДЕРЕВЯННЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ...67**

Рассматриваются вопросы расчета на продольный изгиб сжатых деревянных стержней с учетом мгновенной нелинейности деформирования и ползучести, а также начальных несовершенств. В основу положено уравнение вязкоупругопластической модели наследственного старения, предложенное А.Г. Тамразяном. В качестве уравнения, определяющего зависимость между напряжениями и мгновенными деформациями, использована формула Герстнера. Представлена задача для шарнирно опертого по концам стержня квадратного поперечного сечения, которая сведена к дифференциальному уравнению второго порядка относительно прогиба. Решение полученного уравнения выполняется численно при помощи разработанной авторами программы в среде Matlab. Показано существенное влияние начальных несовершенств на величину мгновенной критической силы и критического времени. При одной и той же нагрузке, в зависимости от величины стрелы начальной погиби, рост прогиба во времени может носить как ограниченный, так и неограниченный характер. На основе касательно-модульной теории выведена формула мгновенного критического напряжения для идеальных стержней, работающих за пределами упругости, и выполнено сравнение результатов, полученных с использованием указанной теории и критерия начальных несовершенств.

**Ключевые слова:** ползучесть, дерево, стержень, нелинейность, устойчивость.

UDC: 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.67.71. **CALCULATION OF THE STABILITY OF COMPRESSED WOODEN RODS UNDER NONLINEAR CREEP.** Yazyev S.B.1, Chepurenko V.S.1, Chepurenko A.S.1, Sabitov L.S.2,3, 1 Don State Technical University, department «Strength of materials», 2 Kazan Federal University, 3 Kazan State Power Engineering University; e-mail: serdariaziev@gmail.com

**Abstract.** The problems of calculating the longitudinal bending of compressed wooden rods are considered taking into account the instantaneous nonlinearity of deformation and creep, as well as initial imperfections. It is based on the equation of the viscoelastoplastic model of hereditary aging proposed by A.G. Tamrazyan. The Gerstner formula is used as an equation determining the relationship between stresses and instantaneous strains. A problem is presented for a square cross-section pivotally supported at the ends rod, which is reduced to a second-order differential equation for deflection. The solution of the obtained equation is performed numerically using a program developed by the authors in the Matlab environment. A significant effect of initial imperfections on the value of the instantaneous critical force and critical time is shown. At the same load, depending on the value of the initial deflection, the increase in the deflection in time can be either limited or unlimited. Based on the modulo-tangential theory, the formula for instant critical stress for ideal rods working outside the elasticity is derived, and the results obtained using this theory and the criterion of initial imperfections are compared.

**Key words:** creep, wood, rod, nonlinearity, stability.

[Механика грунтов](#)

[Soil mechanics](#)

УДК 624.139 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.72.77

**АЛЕКСЕЕВ А.Г., к.т.н., НИИОСП им. Н.М. Герсевича (АО «НИЦ «Строительство»), МГСУЖ; e-mail: adr-alekseev@yandex.ru**

**НАПРЯЖЕНО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПУЧИНИСТОГО ГРУНТА ПРИ ПРОМЕРЗАНИИ...72**

Представлены функциональные зависимости между напряженным и деформированным состояниями (тензорами) и параметрами, характеризующими промерзающий пучинистый грунт. Приведено описание напряженно-деформированного состояния пучинистого грунта при промерзании с помощью теории термоупругости. Статья содержит примеры расчета различных видов напряженно-деформированного состояния промерзающего грунта с использованием теории термоупругости.

**Ключевые слова:** морозное (криогенное) пучение грунта, напряженно-деформированное состояние грунта, теория термоупругости.

UDC 624.139 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.4.72.77. **STRESS-STRAIN STATE OF THE HEAVING SOIL DURING FREEZING.** A.G. Alekseev, Gersевич NIIOSP, Moscow State University of Civil Engineering; e-mail: adr\_alekseev@yandex.ru

**Abstract.** Functional dependencies between the stressed and deformed States (tensors) and parameters that characterize the frozen heaving soil are presented. The description of the stress-strain state of the heaving soil during freezing using the theory of thermoelasticity is given. The article contains examples of calculating various types of stress-strain state of frozen soil using the theory of thermoelasticity.

**Key word:** frost (cryogenic) soil heaving, stress-strain state of the soil, theory of thermoelasticity.

**№ 5 за 2020 год**

**110 лет со дня рождения Коренева Бориса Григорьевича...2**

**110 years since the birth of Boris Korenev Grigorievich's**

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК: 624.012.3; 624.012.4 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.4.11

**С.Б. КРЫЛОВ, д.т.н., С.А. ЗЕНИН, к.т.н., Р.Ш. ШАРИПОВ, к.т.н., Ю.С. ВОЛКОВ, к.т.н., А.О. ЦИГУЛЕВ, инж., НИИЖБ им. А.А. Гвоздева; e-mail: volkov@dstroy.ru**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ПО ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ ПО УСТАЛОСТИ...4**

Содержащаяся в отечественных нормах по проектированию железобетонных конструкций методика расчета на выносливость (усталость) предусматривает, что максимальные напряжения в арматуре не должны превосходить соответствующих расчетных сопротивлений, определяемых по ограниченному пределу выносливости. Расчетные сопротивления устанавливаются в зависимости от режима нагрузок, характеризующего коэффициентом асимметрии цикла и вида арматуры (ее класса). Проведенный анализ показал некоторые отличия отечественной методики расчета от подходов иностранных норм в части расчета по растянутой арматуре, в которых в качестве основного критерия принято нормирование по предельным амплитудам напряжений. С учетом данных проведенных исследований, а также отдельных положений расчета на усталость, принятого в нормах проектирования ряда других стран, представляется полезным актуализировать существующую методику расчета, скорректировав ее в части расчета по растянутой арматуре с учетом имеющихся данных по предельным амплитудам напряжений. Для этой цели были проведены расчетно-теоретические исследования по установлению предельно допустимых амплитуд напряжений в арматуре. По результатам исследований были составлены предложения по расчету растянутой арматуры (как ненапрягаемой, так и предварительно напряженной) на усталость. Указанные предложения составлены с учетом различных конструктивных решений армирования (нахлесточные и механические соединения арматуры, гнутые стержни и др.).

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, метод расчета, предельное состояние, усталость, ненапрягаемая арматура, предварительно напряженная арматура, напряжения, амплитуда напряжений, класс арматуры.

UDC: 624.012.3; 624.012.4 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.4.11 **DETERMINATION OF STRESSES IN REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES FOR FATIGUE LIMIT STATE VERIFICATION.** S.B. Krylov, S.A. Zenin, R.Sh. Sharipov, Yu.S. Volkov, A.O. Tsygulyov, NIIZHB named after A.A. Gvozdev; e-mail: volkov@dstroy.ru

**Abstract.** The method of calculating endurance (fatigue) contained in the national standards for the design of reinforced concrete structures provides that the maximum stress in the reinforcing and prestressing steel should not exceed the corresponding design resistances determined by a limited fatigue strength. The calculated resistances are set depending on the load mode, characterized by the

cycle asymmetry coefficient and the type of reinforcing and prestressing steel (class). The analysis showed some differences between the national calculation method and the approaches of foreign design standards in terms of calculation for reinforcing and prestressing steel at tension, in which the main criterion is the calculation of the ultimate stress range. Taking into account the data of the conducted research, as well as certain provisions of the fatigue calculation adopted in the design standards of a number of other countries, it is useful to update the existing calculation methodology, adjusting it in the part of calculation for reinforcing and prestressing steel at tension, taking into account the available data on the ultimate stress range. For this purpose, computational and theoretical studies were conducted to establish the ultimate stress range. Based on the results of the research, proposals were made for calculating of reinforcing and prestressing steel at tension for fatigue. These proposals were made taking into account various detailing solutions of reinforcement (lapped splices and mechanical joints, bent bars, etc.).

**Key words:** reinforced concrete structures, calculation method, limit state, fatigue, reinforcing steel, prestressing steel, stresses, stress range, reinforcing and prestressing steel class.

ГРНТИ 67.11.31 УДК 624.012.4-183.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.12.16

**А.В. ТРОФИМОВ, к.т.н., доцент, К.А. НАЗАРОВА, аспирант Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: nazarovaks@bk.ru**  
**УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПЛИТЫ ПРИ РАСЧЕТЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАЛОК МОНОЛИТНОГО РЕБРИСТОГО ПЕРЕКРЫТИЯ...12**

В настоящее время большое развитие получает строительство из монолитного железобетона. Однако расчет монолитного ребристого перекрытия по современным нормам может привести к существенному перearмированию, поскольку арматура плиты также участвует в работе балки. Предлагается методика расчета с учетом армирования плиты. Рассмотрен расчет участка монолитного ребристого перекрытия как по современным нормам, так и по предложенной методике в зависимости от изменения нагрузки. Полученные результаты сведены в таблицы, проведен сравнительный анализ, построены графики и сделаны соответствующие выводы о влиянии армирования плиты в расчете балки при определенных параметрах.

**Ключевые слова:** расчет балки таврового сечения, армирование плиты, монолитное ребристое перекрытие.

UDC 624.012.4-183.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.12.16. **ACCOUNTING OF INFLUENCE OF THE FLANGES IN CALCULATING THE BEAM STRENGTH OF THE RIBBED SLAB.** A.V. Trofimov, K.A. Nazarova, Saint-Petersburg state university of architecture and civil engineering; e-mail: nazarovaks@bk.ru

**Abstract.** Construction from monolithic reinforced concrete gets a big development. However, the calculation of monolithic ribbed overlap according to modern standards can lead to a significant overhaul, since the shelf reinforcement is also involved in the work of the beam. Therefore, the proposed method of calculation, taking into account the reinforcement of the shelf. The calculation of the section of a monolithic ribbed overlap (girder beams) is considered both according to modern standards, and according to the proposed method, depending on the load change and concrete class. The results obtained were tabulated, a comparative analysis was carried out, graphs were constructed and corresponding conclusions were made on the effect of reinforcement of the shelf in the calculation of the beam with certain parameters.

**Key words:** calculation of T-beam, flange reinforcement, ribbed slab.

УДК 624.042; 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.17.24

**К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ, д.т.н., с.н.с. ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко; e-mail stroyemx@list.ru**

**РАСЧЕТ ДЕРЕВЯННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ...17**

Приводятся предложения по расчету конструкций с каркасом из клееной и цельной древесины и с обшивками из анизотропных материалов, работающих в сложном напряженном состоянии при кратковременных и длительных нагрузках. Даются методика и пример расчета на сдвиг наиболее напряженных связей в швах примыкания оболочки к диафрагмам по теории предельного равновесия. Предлагается включить расчеты элементов конструкций, работающих в сложном напряженном состоянии в последующие редакции норм проектирования.

**Ключевые слова:** деревянные конструкции, статическая неопределимость, нелинейные деформации, интегральный модуль, анизотропия, критерии прочности.  
UDC 624.042; 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.17.24. **CALCULATION OF WOODEN SPATIAL STRUCTURES UNDER COMPLEX STRESS CONDITIONS.** K.P. Pyatikrestovskiy, TSNISK named after V.A. Kucherenko; e-mail stroyemx@list.ru.

**Abstract.** The article proposes the calculations of structures made of glued or solid wood and paneling from anisotropic materials that work at complex stress state together with a frame under short-term and long-term loads. A method and an example of calculation for the shift of the most stressed bonds in the seams of the shell abutment to the diaphragms are given according to the theory of ultimate equilibrium. It is proposed to include calculations of structural elements operating in a complex stress state in subsequent versions of the design standards.

**Key words:** wooden structures, static indeterminability, nonlinear deformation, anisotropy, integral modulus, strength criteria.

[Численные расчеты](#)

[Numerical calculations](#)

УДК 624.04+624.07 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.25.32

**А.В. ЕРМАКОВА, к.т.н., доцент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск; e-mail: annaolga11@gmail.com**  
**ПРИМЕР ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАТРИЦЫ ЖЕСТКОСТИ ТРЕУГОЛЬНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА БАЛКИ-СТЕНКИ В МДКЭ...25**

Рассматривается пример постепенного преобразования матрицы жесткости треугольного конечного элемента балки-стенки при проведении нелинейного расчета по первому предельному состоянию методом дополнительных конечных элементов (МДКЭ). К моменту разрушения материал КЭ (бетон) проявляет от двух (при сжатии) до четырех (при растяжении) физически нелинейных свойств. Матрица жесткости КЭ меняется под влиянием каждого из них. Для численного моделирования этой операции МДКЭ использует матрицы жесткости дополнительных конечных элементов (ДКЭ).

**Ключевые слова:** метод дополнительных конечных элементов, метод конечных элементов, матрица жесткости конечного элемента, дополнительный конечный элемент, матрица жесткости дополнительного конечного элемента.

UDC 624.04+624.07 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.25.32. **EXAMPLE OF GRADUAL TRANSFORMATION OF STIFFNESS MATRIX FOR TRIANGULAR FINITE ELEMENT OF DEEP BEAM AT AFEM.** A.V. Ermakova, South Ural state University (NRU), Chelyabinsk; e-mail: annaolga11@gmail.com

**Abstract.** The paper considers the example of gradual transformation of the stiffness matrix of triangular finite element of deep beam for fulfillment of nonlinear analysis according to first limit state by means of Additional Finite Element Method (AFEM). Material FE (concrete) reveals from two (under compression) to four (under tension) physical nonlinear properties before its collapse. Stiffness matrix of FE is changed under influence of each property. AFEM uses the stiffness matrixes of additional finite elements (AFE) for numerical realization of this operation.

**Key words:** additional finite element method, finite element method, stiffness matrix of finite element, additional finite element, stiffness matrix of additional finite element.

УДК 624.012.41:519.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.33.37

**В.Л. ХАРЛАНОВ, д.т.н., С.В. ХАРЛАНОВА, к.т.н. ИАНС ВолгГТУ, г. Волгоград; e-mail: svetlh@mail.ru**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ КОНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ...33**

Моделирование бетона конечными элементами затруднено в связи с двумя факторами: наличием ниспадающей ветви диаграммы состояния и существенным различием пределов прочности при одноосном и трехосном сжатии. Для предварительного напряженных железобетонных элементов добавляется проблема моделирования предварительно напрягаемой арматуры. Для решения этих проблем разработана методика расчета, реализующая метод конечных элементов. Данная методика позволяет в одном прогоне реализовать расчет по 1 и 2 группам предельных состояний предварительно напряженных железобетонных конструкций. Приведен пример расчета плиты перекрытия с овальными пустотами. Полученные результаты сравнивались с результатами нормативной методики расчета.

**Ключевые слова:** бетон, теория прочности, диаграмма состояния, метод конечных элементов, эквивалентные напряжения, энергия деформирования, нелинейные уравнения статики, физическая нелинейность.

UDC 624.012.41:519.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.33.37. **MODELING A PRESTRESSED FLOOR SLAB WITH FINITE ELEMENTS.** V.L. Kharlanov, S.V. Kharlanova, Volgograd state technical University; e-mail: svetlh@mail.ru.

**Abstract.** Modeling concrete with finite elements is difficult due to two factors: the presence of a falling branch of the state diagram and a significant difference in the strength limits for uniaxial and triaxial compression. For prestressed reinforced concrete elements, the problem of modeling prestressed reinforcement is added. To solve these problems, a calculation method has been developed that implements the finite element method. This method allows for the calculation of 1 and 2 groups of limit States of prestressed reinforced concrete structures in a single run. An example of calculating a floor slab with oval voids is given. The results obtained were compared with the results of the standard calculation method.

**Key words:** concrete, strength theory, state chart, finite element method, equivalent stress, energy deformation, nonlinear equations of static, the physical nonlinearity.

[Динамические расчеты](#)

[Dynamic calculation](#)

УДК 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.38.46

**И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. РУТ МИИТ; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru**

**ГРАНИЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТ У ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА И МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА...38**

Часть первая. Действие на мостовой переход подвижной силовой нагрузки Для расчета мостов на ВСМ предлагаются граничные элементы для стержня на упругом основании (конечные элементы большой длины, при аппроксимации смещений набором линейных и тригонометрических функций). Граничные элементы используются для расчета колебаний рельсового пути вне моста и на мосту совместно со связанным через прослойку двухпутным балочным мостом при скоростном движении произвольной силовой нагрузки. Для построения методики используются предложенные ранее автором статьи шаговая процедура для решения задач неустановившейся динамики сооружений и способ расчета сооружения на действие подвижных силовых воздействий.

**Ключевые слова:** подвижная силовая нагрузка, шаговые процедуры, стержневые граничные элементы, рельсовый путь, мостовой переход.

UDC 624.07.534.1. **BOUNDARY ELEMENT APPROACH TO CALCULATING THE INTERACTION OF HIGH-SPEED RAILWAY STRUCTURE AND BRIDGE CROSSING. PART I. ACTION OF MOBILE POWER LOAD ON A BRIDGE CROSSING.** I.I. Ivanchenko, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru .

**Abstract.** For calculating bridges on the high-speed railways, boundary elements for a rod on an elastic base are proposed (finite elements of long length with a set of linear and trigonometric functions approximating the displacements). Boundary elements are used to calculate the vibrations of the track outside the bridge and on the bridge, together with a two-track beam bridge connected through the layer under high speed of any power load. To construct the method the author uses the step-by-step procedure proposed him earlier for solving problems of unsteady dynamics of structures and a method for calculating the structure for the action of mobile force influences.

**Key words:** mobile power load, step procedures, rod boundary elements, rail track, bridge crossing.

УДК 624.04:531.391.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.47.52

**М.Н. КИРСАНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф. НИУ МЭИ; e-mail: mpei2004@yandex.ru**

**ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ФЕРМЫ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЧИСЛОМ ПАНЕЛЕЙ...47**

Цель. Плоская статически определяемая ферма балочного типа с тройной несимметричной решеткой имеет прямолинейные пояса. Ставится задача получить нижнюю аналитическую оценку первой частоты собственных колебаний фермы с произвольным числом панелей в предположении, что масса фермы равномерно распределена по узлам нижнего пояса, стержни упругие, а шарниры идеальные. Метод. В программе, составленной в системе символьной математики Maple, из решения системы линейных уравнений равновесия узлов фермы, в которую входят и реакции опор, находятся усилия в стержнях. Для получения нижней оценки частоты используется метод Донкерля. Жесткость конструкции определяется с использованием матрицы податливости, полученной по формуле Максвелла–Мора в предположении равенства жесткостей всех стержней. Серия решений, полученных для ферм с различным числом

панелей, обобщается на произвольное число панелей. **Результаты.** Итоговая формула имеет полиномиальные по числу панелей коэффициенты. Показано, что точность полученной оценки зависит от числа панелей. С увеличением числа панелей относительная точность увеличивается. В процессе счета обнаружено также, что при некоторых числах панелей определитель системы уравнений равновесия обращается в ноль, что означает мгновенную кинематическую изменчивость конструкции. Получена соответствующая картина распределения скоростей узлов, подтверждающая обнаруженный эффект, и дана его статическая интерпретация.

**Ключевые слова:** балочная ферма, нижняя оценка частоты, Maple, индукция, число панелей, мгновенная изменчивость, метод Донкерлея.

UDC 624.04.531.391.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.47.52. **ESTIMATION OF THE VIBRATION FREQUENCY OF A TRUSS WITH AN ARBITRARY NUMBER OF PANELS.** M.N. Kirsanov, National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia; e-mail: mpei2004@Yandex.ru.

**Abstract.** A planar statically determinate truss with a triple asymmetric lattice has rectilinear chords. The task is to obtain a lower analytical estimate of the first frequency of natural vibrations of a truss with an arbitrary number of panels, assuming that the mass of the truss is uniformly distributed over the nodes of the lower chord, the rods are elastic, and the hinges are ideal. **Method.** In the program, compiled in the Maple symbolic mathematics system, the forces of the rods are found from the solution of the system of linear equilibrium equations for the nodes of the truss, which includes the reactions of the supports. The Dunkerley method is used to obtain a lower frequency estimate. The stiffness of the structure is determined using the compliance matrix obtained by the Maxwell-Mohr's formula under the assumption that the stiffnesses of all the rods are equal. The series of solutions obtained for trusses with different numbers of panels is generalized to an arbitrary number of panels.

**Results.** The final formula has coefficients polynomial in the number of panels. It is shown that the accuracy of the obtained estimate depends on the number of panels. As the number of panels increases, the relative accuracy increases. In the course of counting, it was also found that for some numbers of panels, the determinant of the system of equilibrium equations vanishes, which means instantaneous kinematic variability of the structure. A corresponding picture of the distribution of node velocities is obtained, which confirms the discovered effect, and its static interpretation is given.

**Key words:** girder truss, frequency lower bound, Maple, induction, number of panels, instantaneous variability, Dunkerley method.

УДК 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.52.59

**Е.Б. КОРЕНЕВА<sup>1</sup>, д.т.н., проф., В.Р. ГРОСМАН<sup>2</sup> инж.** <sup>1</sup>Московское высшее общевойсковое командное орденов Жукова, Ленина и Октябрьской Революции Краснознаменное училище, <sup>2</sup>МГАВТ – филиал ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»; e-mail: elena.koreneva2010@yandex.ru

**КОЛЕБАНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН, ИМЕЮЩИХ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ ИЛИ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ОПОРЫ. РЕШЕНИЯ В ФУНКЦИЯХ БЕССЕЛЯ...52**  
В работе впервые получены точные аналитические решения ряда задач о колебаниях круглых пластин, сделанных из анизотропного материала. Рассматриваются следующие задачи: свободные колебания анизотропных круглых пластин, имеющих точечную и кольцевую опоры; свободные колебания подобных пластин, имеющих присоединенную точечную массу и массу, распределенную вдоль окружности. Для получения решений используется метод компенсирующих нагрузок (МКН). Для этого строится основное и компенсирующее решения. Основное решение удовлетворяет разрешающему дифференциальному уравнению задачи, а компенсирующее решение удовлетворяет однородному дифференциальному уравнению, описывающему поставленную задачу, и в сумме с основным решением удовлетворяет граничным условиям. Для интегрирования исходного разрешающего дифференциального уравнения рассматривается новый прием, связанный с использованием уравнения Нильсена. Искомые решения получены в функциях Бесселя. Во всех изучаемых в работе случаях получены трансцендентные уравнения для определения частот собственных колебаний.

**Ключевые слова:** колебания круглых анизотропных пластин, присоединенная масса, точечные и кольцевые опоры, функции Бесселя.

UDC 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.52.59. **VIBRATION PROBLEMS OF ANISOTROPIC PLATES, HAVING THE ADDITIONAL MASSES OR THE INTERMEDIATE SUPPORTS. THE SOLUTIONS IN TERMS OF BESSEL FUNCTIONS.** E.B. Koreneva<sup>1</sup>, V.R. Grosman<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Moscow Higher Combined-Arms Command Academy, <sup>2</sup>Moscow State Academy of River Transport named by admiral S.O. Makarov; e-mail: elena.koreneva2010@yandex.ru.

**Abstract.** The work for the first time obtains the exact analytical solutions of the certain problems of vibration of the circular plates made from anisotropic material. The following problems are under consideration: free oscillation of anisotropic circular plates having the point or the ring intermediate supports; free oscillation of the similar plates with the additional point mass or the mass distributed along the circumference. The method of the compensating loads (MCL) is used for the receiving of the solutions. For this aim the basic and the compensation solutions are obtained. The basic solution satisfies to the resolving differential equation of the problem under consideration. The compensating solution satisfies to the homogeneous equation, describing the problem, and this solution amounting to the basic solution satisfies to the boundary conditions. The new method connected with the use of the Nielsen's equation for integrating of the resolving differential equation with the variable coefficients is applied. The sought solutions are obtained in terms of Bessel functions. For the all cases under examination the transcendental equations for the determination of the free vibration frequencies are received.

**Key words:** vibration of the circular anisotropic plates, the additional mass, the point and the ring supports, Bessel functions.

УДК: 624.9 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.59.68

**С.В. ОСЫКОВ, аспирант, А.В. ТРОФИМОВ, к.т.н., доцент Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет; e-mail: osykovvv@gmail.com**  
**ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ДИНАМИЧНОСТИ ПРИ РАСЧЕТЕ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ...59**

Выполнен обзор иностранных и российских исследований, посвященных методикам определения коэффициентов динамичности при расчете на прогрессирующее обрушение. Проанализированы эмпирические и аналитические подходы, а также исследования с использованием физических моделей. Выявлены основные факторы, оказывающие влияние на величину коэффициента динамичности.

**Ключевые слова:** прогрессирующее обрушение, коэффициенты динамичности, внезапное удаление элементов, пластичность, нелинейный статический расчет.

UDC: 624.9 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.59.68. **APPROACHES FOR DEFINING THE DYNAMIC AMPLIFICATION FACTORS USED FOR PROGRESSIVE COLLAPSE ANALYSIS.** S.V. Osykov, A.V. Trofimov, Saint Petersburg University of architecture and civil engineering; e-mail: osykovvv@gmail.com

**Abstract.** A review of foreign and Russian researches dedicated to the procedures for defining the dynamic amplification factors used for progressive collapse analysis is carried out. Empirical and analytical approaches are analyzed, as well as researches using scaled substructures. The main factors that influence the value of the dynamic amplification factor are identified.

**Key words:** progressive collapse, dynamic amplification factors, sudden element removal, ductility, nonlinear static analysis.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.072.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.69.77

**А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доцент Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске; e-mail: al\_marut@rambler.ru**  
**ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С РЕШЕТКАМИ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ТРУБ...69**

Приведен расчет геометрических характеристик прямоугольных труб по приближенной методике, корректность которой подтверждена тестированием с использованием стандартных профилей. Представлена новая компоновка решеток зигзагообразного очертания из прямоугольных профилей труб, оптимизированная для ферменных систем на базе стальных прутковых конструкций покрытий с заменой прутковых гнутых элементов на трубчатые. Показаны бесфасоночные узловые соединения поясов и решеток с непосредственным примыканием стержневых элементов друг к другу без расцентровок, а также с конструктивными эксцентриситетами, ограниченными 0,25 высоты поясных элементов, что допускает не учитывать их в расчетах и обеспечивает повышение степени унификации узлов верхних и нижних поясов несущих конструкций. Выявлена перспективность использования нового технического решения в легких металлических конструкциях зданий и сооружений. Очерчена область его рационального применения, где при помощи вариантного проектирования известных и новых решений дана количественная оценка ресурсам их несущей способности и материалоемкости. Приведена вся диаграмма изменений расчетных параметров прямоугольных труб при трансформации их поперечных сечений от вертикальных конфигураций до горизонтальных, включая переход через квадратный контур.

**Ключевые слова:** расчет оптимальных параметров, профильные трубы, стержневые системы, фермы, легкие металлические конструкции.

UDC 624.072.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.5.69.77. **OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES WITH RECTANGULAR PIPE GRIDS.** A.S. Marutyanyan, Branch of the North Caucasus Federal University, Pyatigorsk; e-mail: al\_marut@rambler.ru.

**Abstract.** The article gives the geometrical characteristics of rectangular pipes calculated by the approximate method, the accuracy of which is confirmed by testing standard profiles. A new arrangement of zigzag-shaped grids made of rectangular profile pipes is presented. It is optimized for truss systems based on steel bar coating structures with the replacement of bent bar elements with tubular ones. The article describes nodal connections without gussets for chords and grids with rod elements directly adjusted to each other without misalignment, as well as with structural eccentricities limited to 0.25 of the height of chord elements. It is possible not to take them into account in calculations and to increase the degree of unification of nodes of upper and lower chords of load-bearing structures. The prospects of the new technical solution in lightweight metal structures of buildings are revealed. The scope of its rational application is outlined. The entire diagram of changes in the design parameters of rectangular pipes during the transformation of their cross-sections from vertical to horizontal configurations is shown.

**Key words:** calculation of optimal parameters, profile pipes, rod systems, trusses, lightweight metal structures.

**№ 6 за 2020 год**

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 69:624.074:624.012.4 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.2.13

**О.О. АЛЕШИНА, ведущий инженер-конструктор, преподаватель-исследователь, В.Н. ИВАНОВ, д.т.н., профессор, Е.А. ГРИНЬКО, зав. лабораторией, ассистент**  
**департамента строительства РУДН, Москва; e-mail: xiaofeng@yandex.ru**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТОРСОВОЙ ОБОЛОЧКИ ОДИНАКОВОГО СКАТА АНАЛИТИЧЕСКИМ И ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ...2**

Различные вычислительные комплексы и методы расчета на сегодняшний день представлены в сфере проектирования, возведения и применения тонкостенных конструкций типа оболочек. В связи с тем, что тонкостенные конструкции в форме различных оболочек широко используются в архитектуре, машиностроении, авиастроении и т.д., необходимо знать и понимать возможности различных методов расчета, включая аналитические. Работы по исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) оболочки одинакового ската с направляющим эллипсом в основании представлены на сегодняшний день в малом объеме. В статье впервые приводится вывод дифференциальных уравнений равновесия безмоментной теории оболочек для определения параметров напряженного состояния тора одинакового ската с эллипсом в основании при действии собственного веса материала оболочки. Для проверки параметров напряженного состояния тора по полученным уравнениям равновесия безмоментной теории оболочек выполняется сравнение с результатами по двум численным методам расчета (по методу конечных элементов и по вариационно-разностному методу). Используются вычислительный комплекс SCAD Office на основе метода конечных элементов и программа «SHELLVRM», написанная на базе вариационно-разностного метода. Благодаря полученным и проанализированным числовым результатам напряженного состояния торсовой оболочки одинакового ската выявлены плюсы и минусы применения различных методов расчета, в том числе аналитического.

**Ключевые слова:** теория тонких оболочек, аналитическое решение, безмоментное состояние, торсовая оболочка, поверхность одинакового ската, метод конечных элементов, вариационно-разностный метод, вычислительный комплекс SCAD OFFICE, система Mathcad.

UDC 69:624.074:624.012.4 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.2.13. **INVESTIGATION OF THE EQUAL SLOPE SHELL STRESS STATE BY ANALYTICAL AND TWO NUMERICAL METHODS.** O.O. Aleshina, V.N. Ivanov, E.A. Grinko, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow; e-mail: xiaofeng@yandex.ru.

**Abstract.** Various computing systems and calculation methods are currently used in the design, construction and application of thin-walled structures such as shells. Due to the fact that thin-walled structures in the form of various shells, including torse shells of the equal slope, are widely used in architecture, construction, aircraft construction, etc. it is necessary to know and understand the

possibilities of various calculation methods, including analytical ones. Research on the stress-strain state of the equal slope shell with a directrix ellipse at the base is currently presented in a small volume. The article is the first to derive differential equilibrium equations of the membrane shell theory for determining the parameters of the stress state of the torse of the equal slope with an ellipse at the base under the action of the dead load of the shell material. To check the parameters of the torse stress state using the obtained equilibrium equations of the membrane shell theory, a comparison is performed with the results of two numerical calculation methods (the finite element method and the variational-difference method). The computer system SCAD Office based on the finite element method and the program "SHELLVRM", written on the basis of the variation-difference method, are used. Thanks to the obtained and analyzed numerical results of the stress-strain state of the torse shell of the equal slope with a directrix ellipse in the base, the pros and cons of using various calculation methods, including analytical ones, are revealed.

**Key words:** torse shell, equal slope shell, deplorable surface, membrane theory, finite element method, variation-difference method, geometric modeling, differential geometry, SCAD OFFICE computing system, Mathcad system.

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.14.23

### **С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ПРИ АППРОКСИМАЦИИ ДИАГРАММ ОБЪЕМНОГО И СДВИГОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ БИКВАДРАТ ИЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ (ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ)...14**

Рассматриваются вопросы построения дифференциальных уравнений равновесия геометрически и физически нелинейной сплошной среды, находящейся в условиях осесимметричного деформирования, при аппроксимации диаграмм объемного и сдвигового деформирования квадратичными функциями. Построение физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. При аппроксимации графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования при помощи двух отрезков парабол секущий модуль сдвига на первом участке является линейной функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объемного расширения-сжатия является линейной функцией первого инварианта тензора деформаций. На втором участке диаграмм и объемного, и сдвигового деформирования секущий модуль сдвига является дробной (рациональной) функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объемного расширения-сжатия является дробной (рациональной) функцией первого инварианта тензора деформации. Исходя из предположения о независимости, вообще говоря, друг от друга диаграмм объемного и сдвигового деформирования, рассмотрены шесть основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования, аппроксимированных каждой двумя параболой. На основе полученных физических уравнений выводятся дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для сплошной среды, находящейся в условиях осесимметричного деформирования. Используются две математических модели, описывающие механическое поведение материала сплошной среды: модель, не учитывающая геометрическую нелинейность, и модель, учитывающая геометрическую нелинейность. Построенные в статье дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут найти применение при определении напряженного и деформированного состояния сплошной среды, находящейся в условиях осесимметричного деформирования, замыкающие уравнения физических соотношений для которых, построенные на основе экспериментальных данных, аппроксимированы биквадратичными функциями.

**Ключевые слова:** сплошная среда, осесимметричная деформация, аппроксимация диаграмм объемного и сдвигового деформирования, квадратичные функции, дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях, геометрическая линейность, геометрическая нелинейность.

UDC 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.14.23. **DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EQUILIBRIUM OF CONTINUOUS MEDIUM AT APPROXIMATION OF VOLUME AND SHEAR DEFORMATION DIAGRAMS BY BIQUADRATIC FUNCTIONS (AXIALLY SYMMETRIC DEFORMATION)**, S.V. Bakushev, The Penza state university of architecture and construction; e-mail: bakuchsv@mail.ru.

**Abstract.** The article studies the construction of differential equations of equilibrium for geometrically and physically nonlinear continuous medium under the conditions of axially symmetric deformation whilst diagrams of volumetric and shear deformation are approximated by quadratic functions. The construction of physical dependencies is based on calculating the secant moduli of volumetric and shear deformation. When approximating the graphs of the volumetric and shear deformation diagrams using two segments of parabolas, the secant shear modulus in the first segment is a linear function of the intensity of shear deformations; the secant modulus of volumetric expansion-contraction is a linear function of the first invariant of the strain tensor. In the second section of the diagrams of both volumetric and shear deformation, the secant shear modulus is a fractional (rational) function of the shear strain intensity; the secant modulus of volumetric expansion-compression is a fractional (rational) function of the first invariant of the strain tensor. Based on the assumption of independence, generally speaking, from each other of the volumetric and shear deformation diagrams, six main cases of physical dependences are considered, depending on the relative position of the break points of the graphs of the diagrams volumetric and shear deformation, each approximated by two parabolas. On the basis of the obtained physical equations, differential equations of equilibrium in displacements are derived for continuous medium in conditions of axially symmetric deformation. Two mathematical models are used to describe the mechanical behavior of a material of a continuous medium: a model that does not take into account geometric nonlinearity and a model that takes into account geometric nonlinearity. Differential equations of equilibrium in displacements, constructed in the present article, can be applied in determining the stressed and deformed state of continuous medium under conditions of axially symmetric deformation, closing equations of physical relations for which, based on experimental data, are approximated by biquadratic functions.

**Key words:** continuous medium, axially symmetric deformation, approximation of volumetric and shear deformation diagrams, quadratic functions, differential equations of equilibrium in displacements, geometric linearity, geometric nonlinearity.

УДК 624.05.18 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.24.28

### **А.А. МИНАСЯН, инженер ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: 1747210@mail.ru КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ КОРРОЗИОННО ПОВРЕЖДЕННОГО БЕТОНА ПРИ ПЛОСКОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ...24**

Рассматривается критерий прочности коррозионно поврежденного бетона в случае плоского напряженного состояния. В системе координат главных нормальных напряжений критерий описывает поверхность эллипса. Коэффициенты снижения прочности бетона в зависимости от времени и от уровня напряженного состояния получены экспериментальным путем. При этом характерные размеры эллипса зависят от кинетики коррозионных процессов, зависящих от времени и напряженного состояния конструкций.

**Ключевые слова:** коррозия бетона, критерий прочности, плоское напряженное состояние.

UDC 624.05.18 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.24.28. **CRITERIA FOR STRENGTH OF A CORROSIVELY DAMAGED CONCRETE UNDER FLAT STRESS**. A.A. Minasyan, TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Stroitelstvo» Research Center of Construction, Moscow; e-mail: 1747210@mail.ru.

**Abstract.** Discusses the strength criterion of corrosively damaged concrete in the case of a flat stressed state. In the coordinate system of principal normal stresses, the criterion describes the surface of an ellipse. The coefficients of reducing the strength of concrete depending on time and the level of stress were obtained experimentally. In this case, the characteristic dimensions of the ellipse depend on the kinetics of corrosion processes, depending on the time and stress state of the structures.

**Key words:** concrete corrosion, strength criterion, flat stress state.

#### Расчеты на устойчивость

#### Stability calculation

УДК: 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.28.32

### **А.Е. СВЯТОШЕНКО, к.т.н. ГАУ НО «Управление госэкспертизы», e-mail: sae-2004@yandex.ru**

### **НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ КОНСОЛЬНЫХ СТОЕК ПРИ ПОДАТЛИВОМ КРЕПЛЕНИИ К ОСНОВАНИЮ...28**

Предлагаются решения по вычислению несущей способности (предельной продольной силы  $N_{ult} = N_{x(ф)}$ ) центрально сжатых консольных стоек с податливым креплением к основанию. Расчет предельной продольной силы выполняется по алгоритму СП [1] с уточнением расчетной длины сжатого стержня в зависимости от жесткости сопряжения с основанием. Выполнен сравнительный анализ предельной продольной силы, получаемой по СП [1], с результатами численных расчетов  $N_{ult}$  по МКЭ (метод конечного элемента). Рассчитаны аналитические зависимости несущей способности  $N_{ult}$  в зависимости от жесткости заделки консольного стержня  $K_0$ .

**Ключевые слова:** устойчивость, центрально сжатые консольные стойки, критическая сила Эйлера, податливое крепление консольного стержня, несущая способность консольного стержня.

UDC: 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.28.32. **CALCULATING THE INTERNAL AXIAL FORCES COMPRESSED ROD WITH ROTATIONAL STIFFNESS COLUMN-BASE CONNECTIONS**. A.E. Svyatoshenko, GAU NO "State expertise Department", Nizhny Novgorod; e-mail: sae-2004@yandex.ru.

**Abstract.** Solutions are proposed for calculating the bearing capacity (ultimate longitudinal force) of centrally compressed cantilever struts with flexible attachment to the base. The calculation of the ultimate longitudinal force is carried out according to the SNiP algorithm [1] with the specification of the calculated length of the compressed bar depending on the rigidity of the interface with the base. A comparative analysis of the ultimate longitudinal force obtained according to SNiP [1] with the results of numerical calculations based on the FEM (finite element method) is carried out. Analytical dependences of the bearing capacity are calculated depending on the stiffness of the cantilever bar embedding.

**Key words:** stability, axial compression, Euler's critical force, moment-rotation characteristics, buckling resistance of members.

#### Численные расчеты

#### Numerical calculations

УДК 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.33.40

### **С.В. БОСАКОВ, д.т.н., проф., П.Д. СКАЧЕК, аспирант Белорусский национальный технический университет, г. Минск; e-mail: sevibo@yahoo.com**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ШАРНИРНОМ ОПИРАНИИ БАЛКИ НА КРАЙ СТЕНЫ...33**

В статье приводится решение контактной задачи при шарнирном опирании однопролетной балки на край стены, моделируемой в виде 1/8 изотропного упругого пространства.

Основная цель расчета заключается в определении напряженно-деформированного состояния мест сопряжения балки и опорной поверхности стены. В процессе расчета решаются следующие задачи: построение изолиний контактных напряжений в области непосредственного контакта балки и стен с учетом итерационного процесса, определение области контакта при различных показателях гибкости по М.И. Горбунову-Посадову, построение изолиний вертикальных перемещений стен, установление границ применимости модели расчета, при которой стены рассматриваются в виде 1/8 пространства, влияние показателя гибкости по М.И. Горбунову-Посадову на распределение контактных напряжений у грани 1/8 пространства. Расчет выполняется методом Б.Н. Жемочкина. Примером служит расчет балки на сосредоточенную нагрузку, приложенную в середине пролета балки.

**Ключевые слова:** контактная задача, 1/8 упругого изотропного пространства, метод Б.Н. Жемочкина, показатель гибкости по М.И. Горбунову-Посадову, контактные напряжения, область контакта.

**DETERMINATION OF CONTACT STRESSES OF HINGED BEAM ON THE EDGE OF WALL**. S.V. Bosakov, P.D. Skachok, Belarusian national technical University, Minsk; e-mail: sevibo@yahoo.com.

**Abstract.** The article deals with the solution of a contact problem with a hinged support of a single-span beam on the extreme walls, modeled as 1/8 of an isotropic elastic space. The main purpose of the calculation is to determine the stress-strain state of the joints of the beam and the supporting surface of the wall. In the process of calculation, the following tasks are solved: construction of isolines of contact stresses in the area of direct contact of the beam and walls, taking into account the iterative process, determination of the contact area for various flexibility index according to M.I. Gorbunov-Posadov, the construction of isolines of vertical displacements of the walls, the establishment of the boundaries of the applicability of the calculation model, in which the walls are considered as 1/8 of the space, the influence of the flexibility index according to M.I. Gorbunov-Posadov on the distribution of contact stresses at the edge of 1/8 space. The calculation is performed by the method of B.N. Zhemochkin. An example is the calculation of a beam for a concentrated load applied in the middle of a beam span.

**Key words:** contact problem, 1/8 of an isotropic elastic space, B.N. Zhemochkin method, flexibility index according to M.I. Gorbunov-Posadov, contact stresses, contact area.

УДК: 624.044 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.41.48

Е.И. БРИТВИН, канд. физ.-мат. наук, ГУВЗ ПГАСА, г. Днепр, Украина; E-mail: evgbritvin@gmail.com

#### ЧЕТЫРЕХУЗЛОВОЙ ТЕТРАЭДРИЧЕСКИЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ В УЗЛАХ С УЧЕТОМ РАБОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ОБЪЕМА...41

Путем учета работы вращения элементарного объема, полученный ранее в работе [1] четырехузловой тетраэдрический конечный элемент с вращательными степенями свободы в узлах (три поступательные плюс три поворота) развит для решения задач устойчивости и P-Delta анализа. Матрица жесткости элемента представлена в виде суммы произведений табулированных числовых матриц на алгебраические матрицы, коэффициенты которых выражены через координаты вершин тетраэдра. Продемонстрирована хорошая сходимости решения, полученного на основе разработанного элемента.

**Ключевые слова:** конечный элемент, тетраэдрический конечный элемент, тетраэдрический конечный элемент с вращательными степенями свободы, устойчивость трехмерных тел.

UDC: 624.044 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.41.48. **FOUR-NODE TETRAHEDRAL FINITE ELEMENT WITH DRILLING DEGREES OF FREEDOM IN NODES TAKING INTO ACCOUNT WORK OF THE ROTATION OF THE ELEMENTARY VOLUME.** E.I. Britvin, PSACEA, Dnipro, Ukraine; e-mail: evgbritvin@gmail.com.

**Abstract.** By taking into account the work of rotation of an elementary volume, a four-node tetrahedral finite element with rotational degrees of freedom at the nodes (three translational plus three rotations), obtained earlier in [1], was developed to solve problems of stability and P-Delta analysis. The element stiffness matrix is represented as the sum of the products of tabulated numerical matrices by algebraic matrices whose coefficients are expressed in terms of the coordinates of the vertices of the tetrahedron. A good convergence of the solution obtained on the basis of the developed element is demonstrated.

**Key words:** finite element, tetrahedral finite element, tetrahedral finite element with drilling degrees of freedom, stability of three-dimensional bodies.

#### [Динамические расчеты](#)

#### [Dynamic calculation](#)

УДК 502/504:626/ 627:624.042 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.49.56

#### В.П. ШАРКОВ, к.т.н., ст. науч. с., доцент, Б.М. БАХТИН, д.т.н., проф. РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва; e-mail: V.P.Sharkov@mail.ru ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ЗАПОЛНИТЕЛЯ В СИЛОСАХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ВОЗНИКАЮЩИМИ НАГРУЗКАМИ И ВОЗДЕЙСТВИЯМИ...49

Научная новизна работы в том, что в опытах при динамических воздействиях сейсмического характера выявлена взаимосвязь между картиной и характером неравномерных осадок заполнителя по площади силоса с возникающими в нем динамическими давлениями и направлением воздействия. Эта взаимосвязь до настоящего времени не была известной и ее следует учитывать при создании расчетных моделей. Полученные в опытах результаты объясняют причины возникновения при сейсмических воздействиях в заполнителе и обратных засыпках стен и сооружений крупномасштабных деформаций (ям, провалов и пр.), местоположение и размеры которых автор увязывает с характером, интенсивностью и направлением землетрясений.

**Ключевые слова:** силосы, заполнитель, модель, сейсмические воздействия, неравномерные осадки, динамические давления, виброуплотнение, силы трения.

UDC 502/504:626/ 627:624.042 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.49.56. **FEATURES OF AGGREGATE DEFORMATIONS IN SILOS UNDER DYNAMIC SEISMIC IMPACTS AND THEIR RELATIONSHIP WITH EMERGING LOADS AND IMPACTS.** V.P. Sharkov, B.M. Bakhtin, Russian state agrarian University-Moscow agricultural Academy (RGAU-MSHA) named after K. A. Timiryazev, Moscow; e-mail: V.P.Sharkov@mail.ru

**Abstract.** The scientific novelty of the work is that in experiments with dynamic effects of a seismic nature, the relationship between the picture and the nature of uneven aggregate sediments over the silo area with dynamic pressures and the direction of impact arising in it is revealed. This relationship has not been known to date and should be taken into account when creating computational models. The results obtained in the experiments explain the causes of large-scale deformations (holes, sinkholes, etc.) that occur during seismic impacts in the aggregate and backfill of walls and structures. The author links the location and size of these deformations to the nature, intensity, and direction of earthquakes.

**Key words:** silos, aggregate, model, seismic effects, uneven precipitation, dynamic pressures, vibration compaction, friction forces.

УДК 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.56.60

#### В.Л. МОНДРУС, д.т.н., член-корреспондент РААСН, А.И. КАРАКОЗОВА, к.т.н., СпТМ НИУ МГСУ, г. Москва; e-mail: mondrus@mail.ru ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАСЧЕТА БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ...56

Высотное строительство приобрело большую важность в последнее время. Одной из основных нагрузок для таких конструкций является ветровая нагрузка, которую сложно предсказать и описать. С одной стороны, необходимо оценить давление ветра, с другой, крайне важно учесть аэродинамику конструкции, то есть преобразовать ветровое давление в ветровую нагрузку при помощи аэродинамической передаточной функции. Железобетонные и металлические высотные конструкции одной и той же высоты нуждаются в разных способах расчета ввиду особенностей свойств этих материалов. В статье рассматриваются особенности расчета стальных решетчатых конструкций.

**Ключевые слова:** башни, мачты, ветровая нагрузка, расчет конструкций, пульсации ветра, спектр скорости ветра.

UDC 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.56.60. **TO THE QUESTION OF THE FEATURES OF THE TOWER STRUCTURES.** V.L. Mondrus, A.I. Karakozova, The department of structural and theoretical mechanics NRU MSUCE; e-mail: mondrus@mail.ru

**Abstract.** High-rise construction has become more important in recent years. One of the main loads for such structures is wind load, which is difficult to predict and describe. On the one hand, it is necessary to estimate the wind pressure, on the other, it is extremely important to take into account the aerodynamics of the structure, that is, to convert the wind pressure into a wind load using the aerodynamic transfer function. Reinforced concrete and metal high-rise structures of the same height require different calculation methods due to the special properties of these materials. The article discusses the features of the calculation of steel lattice structures.

**Key words:** towers, masts, wind load, construction design, wind pulsation, wind speed spectrum.

УДК 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.61.68

И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. РУТ МИИТ, г. Москва; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru

#### ГРАНИЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА И МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА. Часть 2. Действие на мостовой переход подвижной инерционной нагрузки в виде скоростного железнодорожного состава...61

Для расчета мостов на ВСМ предлагаются граничные элементы для стержня на упругом основании (конечные элементы большой длины, при аппроксимации смещений набором линейных и тригонометрических функций). Граничные элементы используются для расчета колебаний пути вне моста и на мосту, совместно со связанным через прослойку двухпутным балочным мостом при движении инерционной нагрузки в виде скоростного железнодорожного состава. Для построения методики используются предложенные ранее автором статьи: шаговая процедура для решения задач неустановившейся динамики сооружений и метод «узловых ускорений» для учета действия на сооружения подвижной инерционной нагрузки.

**Ключевые слова:** подвижная нагрузка, шаговые процедуры, стержневые граничные элементы, полное ускорение, рельсовый путь, неровности в предмостовой зоне и на мосту, скоростной состав.

UDC 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.61.68. **BOUNDARY ELEMENT APPROACH TO CALCULATING THE INTERACTION OF HIGH-SPEED RAILWAY STRUCTURE AND BRIDGE CROSSING. Part 2. Action on a bridge crossing of mobile inertial load as high-speed railway train.** I.I. Ivanchenko, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru

**Abstract.** For calculating bridges on the high-speed railways, boundary elements for a rod on an elastic base are proposed (finite elements of long length with a set of linear and trigonometric functions approximating the displacements). Boundary elements are used to calculate the vibrations of the track outside the bridge and on the bridge, together with a double-track girder bridge connected through a layer when moving of an inertial load (such as high-speed railway train). To construct the method, the author uses the step-by-step procedure proposed him earlier for solving problems of unsteady dynamics of structures and the method “nodal accelerations” for recording actions of moving inertial load on structures.

**Key words:** moving load, step procedures, rod boundary elements, full acceleration, rail track, unevennesses in a bridgehead area and on a bridge, high-speed train.

#### [В помощь проектировщику](#)

#### [To help the designer](#)

УДК 624.072.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.69.76

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доц. Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске; e-mail: al\_marut@mail.ru

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОЯСАМИ РЕГУЛЯРНО-ПЕРЕМЕННЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ТРУБ...69

Приведена закономерность по оптимизационному расчету размерных параметров поясов регулярно-переменных сечений из прямоугольных труб для ферм и ферменных конструкций, техническая новизна которых подтверждена патентной экспертизой. Представлена совместимость их компоновки с решетками зигзагообразного очертания из прямоугольных труб, оптимизированных для ферменных систем на базе стальных прутковых конструкций покрытий с заменой прутковых гнутых элементов на трубчатые. Показаны бесфасоночные узловые соединения поясов и решеток с непосредственным примыканием стержневых элементов друг к другу без расцентровок и с конструктивными эксцентриситетами, ограниченными 1/4 высоты поясных элементов, что допускает не учитывать их в расчетах и обеспечивает унификацию узлов верхних и нижних поясов несущих конструкций. Выявлена перспективность использования нового технического решения в легких металлических конструкциях зданий и сооружений. Очерчена область его рационального применения, где при помощи вариантного проектирования известных и новых решений дана количественная оценка ресурсам их несущей способности и материалоемкости. Отражена картина изменений расчетных параметров прямоугольных труб при регулярно-переменной трансформации их поперечных сечений от вертикальных конфигураций до горизонтальных с переходом через квадратную.

**Ключевые слова:** расчет оптимальных параметров, регулярно-переменные сечения, профильные трубы, стержневые системы, фермы, легкие металлические конструкции.

UDC 624.072.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2020.6.69.76. **OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES WITH REGULAR-VARIABLE CROSS-SECTION CHORDS MADE OF RECTANGULAR PIPES.** A.S. Marutyanyan, the Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Branch of the North Caucasus Federal University, Pyatigorsk; e-mail: al\_marut@rambler.ru

**Abstract.** The article describes optimization calculation of dimensional parameters for chords of regularly-variable cross-sections made of rectangular pipes for trusses and truss structures. Its technical novelty is confirmed by patent examination. The compatibility of their layout with zigzag lattices made of rectangular pipes, optimized for truss systems based on steel bar structures, with the replacement of bent bar elements with tubular ones, is presented. Article shows faceless nodal connections of chords and lattices with the rod elements directly adjacent to each other without misalignment and with structural eccentricities limited to 1/4 of the height of the chord elements. It ensures the unification of nodes of the upper and lower chords of load-bearing structures. The prospects of applying this new technical solution in light-weight metal structures are revealed. The scope of its rational application is outlined, where the quantitative assessment of the resources of their load-bearing capacity and material consumption is given. The article reflects changes in the design parameters of rectangular pipes with a regularly variable transformation of their cross-sections from vertical to horizontal configurations with a transition through a square one.

**Key words:** calculation of optimal parameters, regularly-variable cross-sections, profile pipes, rod systems, trusses, light-weight metal structures.



N 1 за 2021 год

[Расчеты на прочность](#)[Strength calculations](#)

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.2.9

**М.В. СУХОТЕРИН<sup>1</sup>**, д.т.н., доц., **А.М. МАСЛЕННИКОВ<sup>2</sup>**, д.т.н., проф., **Т.П. КНЫШ1**, канд. физ.-мат. наук, доц., **И.В. ВОЙТКО1**, к.т.н., доц., <sup>1</sup>ГУМРФ им.адмирала **С.О.Макарова**, <sup>2</sup>СПбГАСУ; e-mail: [sukhoterimv@gumrf.ru](mailto:sukhoterimv@gumrf.ru)

**ИЗГИБ ОРТОТРОПНОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ КОНСОЛЬНОЙ ПЛИТЫ...2**

Предложен итерационный метод суперпозиции исправляющих функций. Частное решение основного дифференциального уравнения изгиба представлено многочленом четвертой степени («балочная» функция), который дает невязку только по изгибающему моменту на параллельных свободных гранях. Эта невязка и последующие взаимно компенсируются двумя видами исправляющих функций – гипербола-тригонометрических рядов с неопределенными коэффициентами. Каждая функция удовлетворяет лишь части граничных условий. Решение задачи достигается бесконечной суперпозицией исправляющих функций. Для сходимости процесса все невязки должны стремиться к нулю. При достижении заданной точности процесс прекращается. Приведены численные результаты расчета квадратной ребристой плиты.

**Ключевые слова:** консольная ортотропная плита, изгиб, гипербола-тригонометрические ряды, точное решение.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.2.9. **BENDING OF ORTHOTROPIC RECTANGULAR CANTILEVER PLATE.** M.V. Sukhoterim1, A.M. Maslennikov2, T.P. Knysh1, I.V. Voytko1, 1 Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 2 Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail:

[sukhoterimv@gumrf.ru](mailto:sukhoterimv@gumrf.ru).

**Abstract.** An iterative method of superposition of correcting functions is proposed. The partial solution of the main differential bending equation is represented by a fourth-degree polynomial (the beam function), which gives a residual only with respect to the bending moment on parallel free faces. This discrepancy and the subsequent ones are mutually compensated by two types of correcting functions-hyperbolic-trigonometric series with indeterminate coefficients. Each function satisfies only a part of the boundary conditions. The solution of the problem is achieved by an infinite superposition of correcting functions. For the process to converge, all residuals must tend to zero. When the specified accuracy is reached, the process stops. Numerical results of the calculation of a square ribbed plate are presented.

**Key words:** cantilever orthotropic plate, bending, hyperbolic-trigonometric series, exact solution.

УДК 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.10.18

**Е.Б. КОРЕНЕВА**, д.т.н., проф. Московское высшее общевойсковое командное орденов Жукова, Ленина и Октябрьской Революции Краснознамённое училище; e-mail: [elena.koreneva2010@yandex.ru](mailto:elena.koreneva2010@yandex.ru)

**ИЗГИБ КОМБИНИРОВАННЫХ ПЛАСТ ИН КУСОЧНО -ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ. РЕШЕНИЯ В ФУНКЦИЯХ ЛЕЖАНДРА...10**

В работе рассматриваются вопросы изгиба пластин, состоящих из отдельных участков с различными законами изменения толщины; каждый из этих участков имеет форму кольца. Изучаемые пластины имеют в плане круговую форму. Отдельные участки состоят из одного и того же или из различных материалов. Эти материалы могут быть однородными и неоднородными, изотропными и анизотропными. В местах стыков отдельных участков толщина конструкции может быть как непрерывной, так и иметь разрывы непрерывности. Изучаются вопросы действия различных осесимметричных нагрузок на подобные конструкции. Рассматриваются такие профили отдельных участков, которые допускают получение решений в присоединенных функциях Лежандра и в полиномах Лежандра. Установлен достаточно широкий класс соответствующих профилей. Для выполнения условий сопряжения отдельных участков вводятся специальные подобранные вспомогательные функции. В качестве примера рассматривается расчет комбинированной пластины, состоящей из трех участков и нагруженной разрывными нагрузками.

**Ключевые слова:** комбинированные пластины, кусочно-переменная толщина, функции Лежандра.

UDC 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.10.18. **THE FLEXURE OF COMBINED PLATES WITH PIECE-WISE VARIABLE THICKNESS. THE SOLUTIONS IN**

**TERMS OF LEGENDRE FUNCTIONS.** E.B. Koreneva, Moscow Higher Combined-Arms Command Academy; e-mail: [elena.koreneva2010@yandex.ru](mailto:elena.koreneva2010@yandex.ru)

**Abstract.** The work considers the problems of flexure of plates of circular form and consisting of separate parts with different laws of thickness variation. The each part of this plate has the form of a ring. The mentioned separate sections may be made from the same or from the different materials. The material of the piece-wise variable plate parts can be isotropic or orthotropic, homogeneous or nonhomogeneous. In the places of the separate parts conjugation the plate's thickness can be continuous or discontinuous. The action of symmetric load on piece-wise variable plate is studied. The analytical approach is used, the solutions are obtained in the closed forms in terms of Legendre functions and Legendre polynomials. Rather wide set of plates' profiles is determined. For the satisfaction of the conditions of the separate sections conjugation the special auxiliary functions are introduced. The computation of the plate, consisting of three sections and subjected to an action of discontinuous loads, is considered as an example.

**Key words:** combined plates, pieces-wise variable thickness, Legendre functions.

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.18.33

**С.В. БАКУШЕВ**, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: [bakuchsv@mail.ru](mailto:bakuchsv@mail.ru)

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ИДЕАЛЬНО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ ПРИ БИЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ЗАМЫКАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ...18**

Рассматриваются вопросы построения дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях для плоского деформирования идеально упругопластической, в отношении сдвиговых деформаций и нелинейно упругой в отношении объемных деформаций, сплошной среды при билинейной аппроксимации замыкающих уравнений, как с учетом, так и без учета геометрической нелинейности, в цилиндрической системе координат. Нелинейные диаграммы объемного и сдвигового деформирования аппроксимируются билинейными функциями. Исходя из предположения о независимости, вообще говоря, друг от друга объемного и сдвигового деформирования, рассмотрены пять основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома билинейных диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Построение билинейных физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. При этом на первом участке диаграмм секущий модуль и объемного, и сдвигового деформирования постоянен, во время как на втором участке диаграмм секущий модуль объемного деформирования является функцией объемной деформации, а секущий модуль сдвига является функцией интенсивности деформаций сдвига. Подставляя соответствующие билинейные физические соотношения в дифференциальные уравнения равновесия сплошной среды, записанные как без учета, так и с учетом геометрической нелинейности, получили разрешающие дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для плоской деформации в цилиндрической системе координат. Полученные дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях в цилиндрических координатах могут найти применение при определении напряженно-деформированного состояния идеально упругопластической, в отношении сдвиговых деформаций и нелинейно упругих в отношении объемных деформаций, сплошной сред, находящихся в условиях плоского деформирования, как с учетом, так и без учета геометрической нелинейности, физические соотношения для которых аппроксимируются билинейными функциями.

**Ключевые слова:** сплошная среда, плоская деформация, цилиндрические координаты, идеально упругопластическое деформирование, дифференциальные уравнения равновесия, геометрическая линейность, геометрическая нелинейность.

UDC 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.18.33. **DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EQUILIBRIUM OF ELASTIC PERFECTLY PLASTIC CONTINUOUS MEDIUM FOR PLANE DEFORMATION IN CYLINDRICAL COORDINATES AT BILINEAR APPROXIMATION OF THE CLOSING EQUATIONS.** S.V. Bakuchev, The Penza state university of architecture and construction; e-mail: [bakuchsv@mail.ru](mailto:bakuchsv@mail.ru).

**Abstract.** The article considers the construction of differential equations of equilibrium in displacements for plane deformation of elastic perfectly plastic regarding shear deformations continuous medium and nonlinearly elastic continuous medium with respect to volumetric deformations with bilinear approximation of the closing equations, both regarding and regardless geometrical nonlinearity in a cylindrical coordinate system. Nonlinear diagrams of volumetric and shear deformation are approximated by bilinear functions. Proceeding from the assumption of independence, generally speaking, of volume and shear deformation from each other, five main cases of physical dependencies are considered, depending on the relative position of the break points of bilinear diagrams of volume and shear deformation. The construction of bilinear physical dependencies is based on the calculation of the secant moduli of volumetric and shear deformation. In this case, in the first section of the diagrams, the secant modulus of both volumetric and shear deformation is constant, while in the second section of the diagrams, the secant modulus of volumetric deformation is a function of volumetric deformation, and the secant shear modulus is a function of the intensity of shear deformations. Substituting the corresponding bilinear physical relations into the differential equations of equilibrium of a continuous medium, written both regardless and regarding geometrical nonlinearity, the resolving differential equations of equilibrium in displacements for plane deformation in a cylindrical coordinate system are received. The received differential equations of equilibrium in displacements in cylindrical coordinates can be applied in determining the stress-strain state of elastic perfectly plastic with respect to shear deformations continuous medium and nonlinearly elastic with respect to volumetric deformations continuous medium under conditions of plane deformation, both regarding and regardless geometrical nonlinearity, physical relations for which are approximated by bilinear functions.

**Key words:** continuous medium, plane deformation, cylindrical coordinates, elastic perfectly plastic deformation, differential equilibrium equations, geometrical linearity, geometrical nonlinearity.

[Нелинейные расчеты](#)[Nonlinear calculations](#)

УДК 531 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.33.39

**В.И. АНДРЕЕВ**, д.т.н., С.А. СЕРЕДА, магистрант НИУ МГСУ, Москва; e-mail: [asv@mgsu.ru](mailto:asv@mgsu.ru)

**ПОЛУЗЧЕСТЬ НЕОДНОРОДНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ НАГРЕВЕ...33**

В статье рассматривается задача ползучести полимерной толстостенной цилиндрической оболочки при действии изменяющегося во времени температурного поля. В основу расчета положено нелинейное уравнение Максвелла-Гуревича, широко используемое в расчетах полимерных конструкций. Для решения квазистационарной нелинейной задачи используется «последовательный» метод, где под слоем подразумевается определенное время процесса. Подобные методы решения задач ползучести носят также название «шаговой», «последовательных нагружений», «инкрементальный» и т.д. Задача решается в осесимметричной постановке в условиях плоской деформации. Результаты.

Использование дифференциального уравнения Максвелла–Гуревича позволяет решать задачи реологии при воздействии переменного во времени температурного поля. Показано изменение напряженного состояния от времени и существенное отличие его от упругого решения.

**Ключевые слова:** ползучесть, неоднородность, нелинейность, полимеры, толстостенная цилиндрическая оболочка.

UDC 531 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.33.39. **CREEP OF INHOMOGENEOUS POLYMER CYLINDRICAL SHELL DURING HEATING.** V.I. Andreev, S.A. Sereda, NRU MGSU, Moscow; e-mail: asv@mgsu.ru

**Abstract.** The article deals with the problem of creep of a polymer thick-walled cylindrical shell under the action of an uneven temperature field. The calculation is based on the nonlinear Maxwell–Gurevich equation, which is widely used in the calculations of polymer structures. To solve a quasi-stationary nonlinear problem, a "layer-by-layer" method is used, where a layer means a certain time of the process. Such methods for solving creep problems are also called step, sequential loading, incremental, etc. The problem is solved in an axisymmetric formulation under conditions of plane deformation. The use of the Maxwell–Gurevich differential equation allows solving rheology problems when exposed to a timevarying temperature field. The change in the stress state with time and its significant difference from the elastic solution are shown.

**Key words:** creep, inhomogeneity, nonlinearity, polymers, thick-walled cylindrical shell.

УДК 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.40.44

**С.В. БОСАКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, О.В. КОЗУНОВА<sup>2</sup>, к.т.н., доцент <sup>1</sup>РУП «Институт БелНИИС», БНТУ, г. Минск, <sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, БНТУ, г. Минск; e-mail: sevibo@yahoo.com**

**СПОСОБ Б.Н. ЖЕМОЧКИНА В РАСЧЕТА ПЛИТ В ФОРМЕ ЧАСТИ КРУГА ИЛИ КОЛЬЦА НА ПРОИЗВОЛЬНОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ...40**

Рассматриваются задачи расчета плит на упругом основании в полярных координатах в традиционной постановке без учета касательных напряжений в контактной зоне. Форма плит принимается в виде сектора круга с произвольным углом или части кольца. Аналитические решения подобных задач известны для плит круглой или кольцевой формы в плане. Расчет ведется способом Жемочкина, поэтому вначале определяются прогибы плиты в виде сектора круга с произвольным углом или части кольца с зашпеленной нормалью. Этот этап расчета выполняется методом Ритца, где за координатные функции принимаются члены ряда по произведениям степеней радиуса на тригонометрические функции угловой координаты. Полученные выражения для прогибов плиты с зашпеленной нормалью позволяют сформировать систему разрешающих уравнений способа Жемочкина, решением которой являются линейное и угловое перемещения введенного зашпеления и распределение реактивных напряжений под плитой. Далее известными методами определяются перемещения плиты на упругом основании и усилия в ней. Приводятся два примера для плит в форме полукруга и кольцевого сектора с прямым углом на упругом полупространстве. Полученные результаты могут найти применение при расчете круглых и кольцевых фундаментов на неосесимметричную нагрузку и плитных фундаментов сложной формы в полярных координатах.

**Ключевые слова:** контактная задача, упругое основание, способ Жемочкина, плита сложной формы в полярных координатах.

**METHOD B.N. ZHEMOKHINA IN CALCULATION OF PLATES IN THE FORM OF A PART OF A CIRCLE OR A RING ON AN ARBITRARY ELASTIC BASE.** S.V. Bosakov1, O.V. Kozunova2, I

RUE "Institute BelNIIS", Belarusian National Technical University, Minsk, 2 Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarusian National Technical University, Minsk; e-mail: sevibo@yahoo.com

**Abstract.** Problems of calculating slabs on an elastic foundation in polar coordinates in the traditional formulation without taking into account the shear stresses in the contact zone are considered. The shape of the plates is taken in the form of a sector of a circle with an arbitrary angle or part of a ring. Analytical solutions for such problems are known for slabs of a circular or annular plan. The calculation is carried out by the Zhemochkin method, therefore, the deflections of the slab are first determined in the form of a sector of a circle with an arbitrary angle or a part of a ring with a clamped normal. This stage of the calculation is performed by the Ritz method, where the terms of the series by the product of the powers of the radius by the trigonometric functions of the angular coordinate are taken as the coordinate functions. The expressions obtained for the deflections of a slab with a clamped normal make it possible to form a system of resolving equations of the Zhemochkin method, the solution of which is the linear and angular displacements of the introduced clamping and the distribution of reactive stresses under the slab. Further, by known methods, the movements of the slab on the elastic foundation and the forces in it are determined. Two examples are given for slabs in the form of a semicircle and an annular sector with a right angle on an elastic half-space. The results obtained can find application in the calculation of circular and ring foundations for non-axisymmetric loads and slab foundations of complex shapes in polar coordinates.

**Key words:** contact problem, elastic foundation, Zhemochkin method, plate of complex shape in polar coordinates.

[Расчеты на надежность](#)

[Reliability calculation](#)

УДК 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.45.53

**А.А. СОЛОВЬЕВА, асп., С.А. СОЛОВЬЕВ, к.т.н., доцент Вологодский государственный университет; e-mail: solovevaaa@vogu35.ru**

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПО КРИТЕРИУ УСТОЙЧИВОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Р-БЛОКОВ...45**

Надежность несущих элементов конструкций служит одним из показателей их механической безопасности. В статье разработаны методы расчета надежности стержней стальных ферм по критерию устойчивости с использованием р-блоков. Р-блоки состоят из двух граничных функций распределения вероятностей, формирующих область возможных функций распределений, и служат для моделирования случайных величин в условиях неполной по количеству или качеству статистической информации. На примере вероятностной оценки усилия в стержне фермы продемонстрирован алгоритм суммирования произвольных р-блоков моделей случайных нагрузок. Результат расчета надежности с использованием р-блоков представлен в интервальной форме. Использование р-блоков позволяет получить более осторожную оценку надежности при неполной статистической информации. Для повышения информативности результата расчета надежности необходимо получить больше статистической информации о случайных величинах в расчетных математических моделях, что позволит сформировать р-блоки с более узкими граничными функциями распределения.

**Ключевые слова:** надежность, р-блок, устойчивость, ферма, вероятность безотказной работы, неопределенность, случайная нагрузка, теория свидетельств.

UDC 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.45.53. **STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF STEEL TRUSS ELEMENTS ON BUCKLING USING P-BOX APPROACH.** A.A.

Solovyova, S.A. Solovyov, Vologda State University; e-mail: solovevaaa@vogu35.ru

**Abstract.** The reliability of load-bearing structural elements is one of the indicators of structural safety. The article presents methods for steel trusses bars reliability analysis according to the buckling criterion using p-boxes. A p-box consists of two boundary probability distribution functions that form the area of possible distribution functions. Such model used for modeling random variables in conditions of incomplete statistical data by quantity or quality. An algorithm for summing p-boxes of random load models is demonstrated on the example of a probabilistic estimate of the force in the truss bar. The result of reliability analysis using p-boxes is presented in interval form. The use of p-boxes makes it possible to obtain a more cautious assessment of reliability in case of incomplete statistical data. To increase the informativity of the reliability analysis result, it is necessary to obtain more statistical data about random variables in design mathematical models of limit state, which will allow forming p-boxes with narrower boundary distribution functions.

**Key words:** reliability, p-box, buckling, truss, failure probability, uncertainty, random load, evidence theory.

[Динамические расчеты](#)

[Dynamic calculation](#)

УДК 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.54.58

**Е.М. ЗВЕРЯЕВ, д.т.н. Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва; e-mail: zveriaev@mail.ru**

**УЧЕТ ВНУТРЕННЕГО ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ В УРАВНЕНИЯХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ КАК ДЛИННОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ...54**

С помощью метода простых итераций, обобщающего методы полуобратный Сен-Венана, Рейсснера и Тимошенко, на примере динамических уравнений плоской задачи теории упругости для длинной упругой полосы строится одномерная теория, разрешающее уравнение которой совпадает с уравнением колебаний балки. Остальные неизвестные задачи определяются без интегрирования, путем прямых вычислений. В исходные уравнения теории упругости вводятся члены, соответствующие вязкому трению в уравнениях Навье-Стокса. Полученные методом простых итераций асимптотические характеристики неизвестных позволяют искать решение в виде разложений неизвестных в асимптотические ряды. Разрешающее уравнение содержит член, зависящий от коэффициента вязкого трения.

**Ключевые слова:** полуобратный метод Сен-Венана, итерации, внутреннее трение, колебания балки.

UDC 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.54.58. **INTRODUCING OF INTERNAL VISCOUS FRICTION IN EQUATIONS OF BEAM OSCILLATION AS LONG RECTANGULAR**

**STRIP.** E.M. Zveriaev, Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Moscow; e-mail: zveriaev@mail.ru

**Abstract.** On the base of the method of simple iterations generalising methods of semi-inverse one of Saint-Venant, Reissner and Timoshenko the one-dimensional theory is constructed using the example of dynamic equations of a plane problem of elasticity theory for a long elastic strip. The resolving equation of that one-dimensional theory coincides with the equation of beam vibrations. The other problems with unknowns are determined without integration by direct calculations. In the initial equations of the theory of elasticity the terms corresponding to the viscous friction in the Navier-Stokes equations are introduced. The asymptotic characteristics of the unknowns obtained by the method of simple iterations allow to search for a solution in the form of expansions of the unknowns into asymptotic series. The resolving equation contains a term that depends on the coefficient of viscous friction.

**Key words:** semi-inverse Saint-Venant method, iterations, internal friction, beam oscillations.

УДК 624.21/8 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.58.61

**И.Ю. БЕЛУЦКИЙ, д.т.н., И.В. ЛАЗАРЕВ, к.т.н., Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск; e-mail: mosttogu@mail.ru.**

**ОБ ЭФФЕКТЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ УСИЛИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВРЕМЕННОЙ НЕРАЗРЕЗНОСТИ В РАЗРЕЗНЫХ СИСТЕМАХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ...58**

В публикации показана эффективность использования принципа временной неразрезности посредством объединения разрезных пролетных строений с помощью временного стыка в неразрезной сеп как варианта регулирования усилий с созданием резерва грузоподъемности несущих конструкций пролетных строений мостового сооружения.

Конкретным расчетным примером показан эффект в величине напряжений и изгибающего момента для разрезных пролетных строений, объединенных временным стыком в двухпролетный неразрезной сеп.

**Ключевые слова:** регулирование усилий, продольная надвигка, резерв несущей способности.

UDC 624.21/8 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.58.61. **ON THE EFFECT OF EFFORT REGULATION BY MEANS OF TEMPORARY CONTINUITY IN SPLIT SPAN STRUCTURES OF**

**STEEL-REINFORCED CONCRETE BRIDGES.** I.Yu. Belutsky, I.V. Lazarev, Pacific National University, Khabarovsk; e-mail: mosttogu@mail.ru.

**Abstract.** The publication shows the effectiveness of applying the principle of temporary continuity by combining split span structures into a continuous coupling using a temporary joint. The method can be viewed as an option for effort regulation, creating a bearing capacity reserve in load-bearing constructions within the span structures of bridges. The calculations provided show the effect on stress rate and bending moment in split span structures combined into a double-span continuous coupling by a temporary joint.

**Key words:** Effort regulation, longitudinal slide, bearing capacity reserve.



## [Сейсмические расчеты](#)

### [Seismic calculations](#)

УДК 699.84 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.62.65

А.М. САВИНОВ, вед.науч.сотр., Г.М. НИГМЕТОВ, к.т.н., С.Д. КОВАЛЕВА, мл.науч.сотр., Т.Г. НИГМЕТОВ, мл.науч.сотр. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); e-mail: savandr198@mail.ru

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ДЕКРЕМЕНТА КОЛЕБАНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ...62

Для паспорта зданий и сооружений требуется определить логарифмический декремент затухания. Предлагаемые выражения [1, 2] для определения декремента используют величину добротности, однако известно выражение, в котором декремент затухания определяется через логарифм отношения амплитуд затухающего сигнала. Сравнения формул по расчету логарифмического декремента колебаний были выполнены на примере данных, полученных при испытании балки с армированием.

**Ключевые слова:** логарифмический декремент колебаний, здания, сооружения, оценка технического состояния, метод динамических испытаний, измерение собственных колебаний, добротность.

UDC 699.84 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.62.65. **DETERMINATION OF THE LOGARITHMIC DECREMENT OF NATURAL VIBRATIONS OF BUILDINGS AND**

**STRUCTURES.** A.M. Savinov, G.M. Nigmatov, S.D. Kovaleva, T.G. Nigmatov, FSBI VNIIGOCHS (FT); e-mail: savandr198@mail.ru.

**Abstract.** For the passport of buildings and structures, it is required to determine the logarithmic damping decrement. The proposed expressions [1, 2] to determine the decrement use the value of the Q-factor, however, an expression is known in which the damping decrement is determined through the logarithm of the ratio of the amplitudes of the damped signal. Comparison of the formulas for calculating the logarithmic decrement of vibrations was carried out using the example of data obtained when testing a beam with reinforcement.

**Key words:** logarithmic decrement, buildings, structures, assessment of technical condition, dynamic method, measurement of natural oscillations, Q-factor.

## [Деформационные расчеты](#)

### [Deformation calculations](#)

УДК 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.66.72

В.В. МИЩЕНКО, инж. АО «КОНЦЕРН ТИТАН-2»; e-mail: mat\_c@mail.ru

### УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРОВОДА ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ВИДЕ ЦЕПНОЙ ЛИНИИ...66

Предложено «уравнение состояния провода» при параметрическом способе представления цепной линии в виде системы нелинейных уравнений. Классическое уравнение состояния провода – частный случай представленной системы нелинейных уравнений. Введено понятие «исходного» состояния провода, на основании которого показано решение параметрического «уравнения состояния провода».

**Ключевые слова:** линия электропередачи, провод ВЛ, механический расчет провода.

UDC 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.66.72. **EQUATION OF STATE OF A WIRE IN THE PARAMETRIC FORM OF A CHAIN LINE.** V.V. Mishchenko, CONCERN TITAN-2;

e-mail: mat\_c@mail.ru

**Abstract.** The "equation of state of the wire" is presented for the parametric representation of a chain line as a system of nonlinear equations. The classical equation of state of a wire is a special case of the presented system of nonlinear equations. The concept of the "initial" state of the wire is introduced, which is used to show the solution of the parametric "equation of state of the wire".

**Key words:** power line, overhead wire, mechanical wire calculation.

## [Краткие сообщения и заметки](#)

### [Brief messages and notes](#)

УДК 624.04.062 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.73.74

К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ, д.т.н., ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: stroymex@list.ru

### К СОСТАВЛЕНИЮ ПРОГРАММЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ...73

Приводятся краткие соображения о дополнении программы испытаний и обработке экспериментальных исследований образцов кладки для упрощения и повышения надежности обработки результатов.

**Ключевые слова:** каменная кладка, испытания образцов, анализ результатов.

UDC 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.1.66.72. **DEVELOPMENT OF TESTING METHODS FOR BRICK AND MASONRY SAMPLES, CONSIDERING THE BIAXIAL STRESS**

**STATE.** K.P. Pyatikrestovskiy, TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Stroitelstvo»; e-mail stroymex@list.ru

**Abstract.** The article contains a brief description about the addition of the test program of the walls from masonry and the processing of results of experimental studies. It'll make the processing of the results so much easier and improve their accuracy.

**Key words:** masonry, sample testing, analysis of results.

## Памяти Назарова Ю.Н...75

In memory of Yu.P. Nazarov...75

## Памяти Попова Н.А...77

In memory of N.A. Popov...77

## № 2 за 2021 год

### [Расчеты на прочность](#)

### [Strength calculations](#)

УДК 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.2.15

О.В. КОЗУНОВА, к.т.н., доц.<sup>1</sup>, докторант<sup>2</sup>, <sup>1</sup>БелГУТ, г.Гомель, <sup>2</sup>БНТУ, г.Минск, Республика Беларусь; e-mail: kozunova@gmail.com

### ОБЩИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ СЛОЖНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ СИСТЕМ НА ПРОИЗВОЛЬНОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ...2

В рассматриваемой работе обобщается методика статического расчета сложных стержневых и пластинчатых систем на произвольном упругом основании под действием внешней нагрузки, при моделировании основания различными моделями, начиная от классической модели Винклера до комбинированной модели, состоящей из модели Винклера и двухслойной модели Когана. Актуальность и своевременность предлагаемой работы заключается в том, что вопросы расчета сложных конструкций на упругом основании до настоящего времени не исследованы в полной мере и нет общего подхода к их расчету. Автору известны работы М.И. Горбунова-Посадова, И.А. Симвулиди, Г.Я. Попова, С.Н. Клепикова, С.Д. Семенова, в которых различными подходами проведены исследования по расчету простых стержневых конструкций, изолированных фундаментных, в том числе сетчатых плит, а также пространственных монолитных фундаментов, как системы перекрестных лент на упругом основании. Предлагаемая методика основана на вариационном методе Ритца и смешанном методе строительной механики с использованием функций влияния Жемочкина. Для определения коэффициентов канонических уравнений и свободных членов смешанного метода строительной механики через способ Жемочкина в расчете используются соотношения для прогибов плит или балок с защемлением в их центре. Для упрощения соотношений метода Жемочкина в шарнирно-соединенных балках защемление с неизвестными перемещениями удобно вводить в начале или конце каждой балки. Численная реализация общего подхода выполнена с использованием компьютерной программы Mathematica.

**Ключевые слова:** стержневые и пластинчатые системы, шарнирно-соединенные балки и плиты, сетчатая фундаментная плита, комбинированное основание, упругий слой, вариационный метод Ритца, способ Жемочкина, функции влияния, осадки, контактные напряжения.

UDC 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.2.15. **GENERAL APPROACH TO THE DESIGN OF COMPLEX BAR AND PLATE SYSTEMS ON AN ARBITRARY ELASTIC**

**FOUNDATION.** O.V. Kozunova, Head of the Design Department, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate. Professor BelSUT, GomeI, doctoral student of BNTU, Minsk; e-mail: kozunova@gmail.com.

**Abstract.** This paper generalizes the method of static calculation of complex rod and plate systems on an arbitrary elastic foundation under the action of an external load, when modeling the foundation with various models, ranging from the classical Winkler model to a combined model consisting of the Winkler model and the Kogan two-layer model. The relevance and timeliness of the proposed work lies in the fact that the issues of calculating complex structures on an elastic foundation have not yet been fully investigated and there is no general approach to their calculation. The author knows the works of M.I. Gorbunova-Posadova, I.A. Simvulidi, G. Ya. Popova, S.N. Klepikova, S.D. Semenyuk, in which various approaches were used to study the design of simple rod structures, isolated foundation slabs, including mesh slabs, as well as spatial monolithic foundations, as a system of cross belts on an elastic foundation. The proposed technique is based on the Ritz variational method and the mixed method of structural mechanics using Zhemochkin's influence functions. To determine the coefficients of the canonical equations and free terms of the mixed method of structural mechanics through the Zhemochkin method, the calculation uses the ratios for the deflections of plates or beams with pinching in their center. To simplify the relations of the Zhemochkin method in hinged-connected beams, it is convenient to introduce pinching with unknown displacements at the beginning or end of each beam. The numerical implementation of the general approach was carried out using the Mathematica computer program.

**Key words:** bar and plate systems, articulated beams and slabs, mesh foundation slab, combined base, elastic layer, Ritz variational method, Zhemochkin method, influence functions, settlements, contact stresses.

УДК 624.078.7 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.16.26

Д.В. КОНИН<sup>1</sup>, к.т.н., А.С. КРЫЛОВ<sup>2</sup>, к.т.н., Д.А. ЧЕСНОКОВ<sup>3</sup>, инж. <sup>1,2</sup>ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), Москва; e-mail:

konden@inbox.ru, <sup>3</sup>АО «Хилти Дистрибушн ЛТД»; e-mail: chesnokovdenis23@gmail.com

### ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ УГОЛКОВЫХ АНКЕРНЫХ УПОРОВ НА СДВИГОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ...16

Расчет и проектирование анкерных упоров в сталежелезобетонных перекрытиях осуществляется по СП 266.1325800.2016. Для приварных упоров различных форм существуют аналитические зависимости, позволяющие оценить сдвиговую прочность шва объединения. Помимо приварных упоров допускается применение Z-образных угловых упоров, закрепляемых на стальной балке с помощью дюбель-гвоздей. Их прочность должна подтверждаться испытаниями по ГОСТ Р 58336-2018. Поскольку данный стандарт описывает методы испытаний упоров и не содержит практических указаний по оценке результатов эксперимента, авторами предлагается методика оценки таких испытаний. Для разработки методики оценки были использованы лабораторные испытания угловых упоров, включавшие в себя 15 серий с различными конструктивными параметрами комбинированной балки. Предложенная методика разработана с учетом требований отечественных стандартов по надежности. Для верификации методики оценки выполнено сравнение с результатами оценки по европейскому стандарту на методы испытания анкерных упоров.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонные перекрытия, сталежелезобетонные балки, комбинированные балки, анкерные упоры, оценка испытаний, статистические методы, высокопрочные добели.

UDC 624.078.7 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.16.26. **ESTIMATION OF THE POWDER-ACTUATED SHEAR CONNECTORS TESTS.** D.V. Konin<sup>1</sup>, A.S. Krylov<sup>2</sup>, D.A. Chesnokov<sup>3</sup>,  
<sup>1,2</sup>TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Строительство» Research Center of Construction, Moscow; e-mail: kondan@inbox.ru; <sup>3</sup>Hilti Distribution LTD, Moscow; e-mail: chesnokovdenis23@gmail.com.

**Abstract.** The shear connector design should be executed according to the SP 266.1325800.2016. For the different typed of welded connectors are there analytic dependences, which could be used for shear connection strength estimation. The design code also allows to use powder-actuated Z-shape shear connectors. Their bearing capacity should be proved by tests according to the GOST R 58336-2018. Inasmuch the GOST doesn't consist the test estimation approach, the authors offer the method. For the test estimation methods the test results of 15 series specimen had been used. The results were compared with estimation according to the European standard for the verification.

**Key words:** composite floors, composite beams, shear connectors, statistic methods, dowels.

УДК 624.05.18 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.27.31

А.А. МИНАСЯН, инж. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: 1747210@mail.ru

### ИЗМЕНЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ БЕТОНА РАСТЯНУТОЙ ЗОНЫ...27

Рассматривается изменение несущей способности коррозионно-поврежденных сборных железобетонных плит перекрытий в условиях циклического замораживания-оттаивания в натуральных климатических условиях. Целью исследования является определение влияния глубины повреждения бетона растянутой зоны на изменение несущей способности и прогибов. Были выбраны и проведены экспериментальные исследования коррозионно-поврежденных сборных железобетонных плит перекрытий. По результатам исследования выявлено влияние глубины разрушенного бетона растянутой зоны на несущую способность конструкций. В результате экспериментальных исследований получены изменения несущей способности и прогибов сборных железобетонных плит в зависимости от глубины повреждения растянутого бетона. Выполненные исследования позволяют оценить несущую способность и значения прогибов коррозионно-поврежденных железобетонных плит в зависимости от относительной величины разрушения бетона растянутой зоны без выполнения дополнительных экспериментов и расчетов.

**Ключевые слова:** коррозия бетона, несущая способность, повреждение бетона, растянутая зона.

UDC 624.05.18 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.27.31. **THE CHANGE IN THE BEARING CAPACITY IS CORROSIVE-DAMAGED FLOOR SLABS DEPENDING ON THE DEPTH OF DAMAGE TO THE STRETCHED ZONE CONCRETE.** A.A. Minasyan, TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Строительство» Research Center of Construction, Moscow; e-mail: 1747210@mail.ru.

**Abstract.** In this work, the influence of the depth of tensile concrete deterioration on the load-bearing strength and deflections of precast reinforced concrete slabs were determined experimentally. The momenta determination and measurement of deflections was carried out by loading the structure stepwise. Analysis of the results of the study indicated the following: as the plates are damaged, with the increase in the height of tensile concrete deterioration, the stress diagram gets gradually filled in the compressive sectional area and its height decreases, which can lead to the destruction of the structure. At the same time, the shear and bending moment diagram of sectional deformation gets curved. As the slab deflections increase, its load-bearing strength decreases.

**Key words:** concrete corrosion, load bearing capacity, damage to concrete, stretched zone.

УДК 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.32.36

А.Е. СВЯТОШЕНКО, к.т.н., ГАУ НО «Управление госэкспертизы», г. Н. Новгород; e-mail: sae-2004@yandex.ru

### ВЫЧИСЛЕНИЕ ОТРЫВАЮЩИХ УСИЛИЙ ФУНДАМЕНТНЫХ БОЛТОВ В БАЗАХ ЦЕНТРАЛЬНО И ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ КОЛОНН...32

Предлагается инженерная методика по расчету отрывающих усилий в фундаментных болтах в базах центрально и внецентренно сжатых колонн. Вычисление усилий выполнено на основе расчета внецентренно сжатых стержней с учетом: влияния формы сечения; начального искривления нейтральной оси колонны; случайного эксцентриситета; нелинейной работы стали. В основе расчета усилий прикрепления (Nult и Mfic) колонн на обресте фундамента принята методика практических расчетов центрально сжатых элементов с использованием коэффициентов устойчивости при центральном сжатии  $\varphi$  (коэффициентов продольного изгиба), которые вычислены в зависимости от гибкости  $\lambda$ . Расчет усилий прикрепления для стержней с различной приведенной гибкостью выполнялся МКЭ в программном комплексе FEMAP, а также аналитически с использованием фиктивных усилий в центрально сжатых стержнях. Для расчета отрывающих усилий в фундаментных болтах составлена расчетная модель с учетом контактного взаимодействия базы и железобетонного основания. Построены графики влияния гибкости центрально и внецентренно сжатого стержня от отрывающего усилия в фундаментных болтах на стадии исчерпания несущей способности колонны при расчете ее на устойчивость как элемента сплошного сечения при центральном и внецентренном сжатии.

**Ключевые слова:** устойчивость, центрально сжатые стержни, несущая способность, усилие, фиктивные усилия, стержень, фундаментные болты, базы колонн.

UDC 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.32.36. **CALCULATION OF EFFORTS RIPS FOUNDATION BOLTS IN THE BASES OF CENTRAL AND ECCENTRIC COMPRESSION COLUMN.** A.E. Svyatoshenko, GAU NO "State expertise Department", Nizhny Novgorod; e-mail: sae-2004@yandex.ru

**Abstract.** An engineering technique for calculating the tearing forces in the foundation bolts in the bases of centrally compressed columns is proposed. The calculation of the forces is based on the calculation of extra-centrally compressed rods, taking into account: the influence of the cross-section shape; the initial curvature of the neutral axis of the column; random eccentricity; nonlinear steel work. The calculation of the attachment forces (Nult and Mfic) of columns on the foundation edge is based on the method of practical calculations of centrally compressed elements using the stability coefficients at central compression  $\varphi$  (longitudinal bending coefficients), which are calculated depending on the flexibility  $\lambda$ . The calculation of the attachment forces for rods with different reduced flexibility was performed by FEM in the FEMAP software package, as well as analytically using fictitious forces in centrally compressed rods. To calculate the tearing forces in the foundation bolts, a calculation model is made taking into account the contact interaction of the base and the reinforced concrete base. Graphs of the effect of the flexibility of the centrally compressed rod on the tearing force in the foundation bolts at the stage of exhaustion of the bearing capacity of the column when calculating its stability as an element of a continuous section under central compression are constructed.

**Key words:** stability, centrally compressed rods, load-bearing capacity, force, dummy forces, rod, foundation bolts, column bases.

[Нелинейные расчеты](#)

[Nonlinear calculations](#)

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.37.45

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru

### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ИДЕАЛЬНО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПЛОСКОЙ ОДНОМЕРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ АППРОКСИМАЦИИ ЗАМЫКАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ БИКВАДРАТ ИЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ...37

Рассматриваются вопросы построения дифференциальных уравнений равновесия геометрически и физически нелинейной идеально упругопластической в отношении сдвиговых деформаций сплошной среды, находящейся в условиях одномерного плоского деформирования, при аппроксимации диаграмм объемного и сдвигового деформирования квадратичными функциями. Построение физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. При аппроксимации графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования при помощи двух отрезков парабол секущий модуль сдвига на первом участке является линейной функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объемного расширения-сжатия является линейной функцией первого инварианта тензора деформаций. На втором участке диаграмм и объемного, и сдвигового деформирования секущий модуль сдвига является дробной (рациональной) функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объемного расширения-сжатия является дробной (рациональной) функцией первого инварианта тензора деформации. Исходя из предположения о независимости, вообще говоря, друг от друга диаграмм объемного и сдвигового деформирования, рассмотрены пять основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования. На основе полученных физических уравнений выводятся дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для сплошной среды, находящейся в условиях плоского одномерного деформирования. Построенные в статье дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут найти применение при определении напряженного и деформированного состояния геометрически и физически нелинейной идеально упругопластической в отношении сдвиговых деформаций сплошной среды, находящейся в условиях плоского одномерного деформирования, замыкающие уравнения физических соотношений для которых, построенные на основе экспериментальных данных, аппроксимированы биквадратичными функциями.

**Ключевые слова:** идеально упругопластическая сплошная среда, плоская одномерная деформация, аппроксимация диаграмм объемного и сдвигового деформирования, квадратичные функции, дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях, геометрическая линейность, геометрическая нелинейность.

UDC 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.37.45. **DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EQUILIBRIUM OF IDEALLY ELASTOPLASTIC CONTINUOUS MEDIUM FOR PLANE ONE-DIMENSIONAL DEFORMATION IN APPROXIMATION OF CLOSING EQUATIONS BY BIQUADRATIC FUNCTIONS.** S.V. Bakuchev, The Penza state university of architecture and construction; e-mail: bakuchsv@mail.ru.

**Abstract.** The present article considers the construction of differential equations of equilibrium of geometrically and physically nonlinear ideally elastoplastic in relation to shear deformations of continuous medium under conditions of one-dimensional plane deformation, when the diagrams of volumetric and shear deformation are approximated by biquadratic functions. The construction of physical dependencies is based on calculating the secant moduli of volumetric and shear deformation. When approximating the graphs of the volumetric and shear deformation diagrams using two segments of parabolas, the secant shear modulus in the first segment is a linear function of the intensity of shear deformations; the secant modulus of volumetric expansion-contraction is a linear function of the first invariant of the strain tensor. In the second section of the diagrams of both volumetric and shear deformation, the secant shear modulus is a fractional (rational) function of the shear strain intensity; the secant modulus of volumetric expansion-compression is a fractional (rational) function of the first invariant of the strain tensor. Based on the assumption of independence, generally speaking, from each other of the volumetric and shear deformation diagrams, five main cases of physical dependencies are considered, depending on the relative position of the break points of the graphs of the diagrams volumetric and shear deformation. On the basis of received physical equations, differential equations of equilibrium in displacements for continuous medium are derived under conditions of plane one-dimensional deformation. Differential equations of equilibrium in displacements constructed in the present article can be applied in determining stress and strain state of geometrically and physically nonlinear ideally elastoplastic in relation to shear deformations of continuous medium under conditions of plane one-dimensional deformation, closing equations of physical relations for which, based on experimental data, are approximated by biquadratic functions.

**Key words:** ideally elastoplastic continuous medium, plane one-dimensional deformation, approximation of volumetric and shear deformation diagrams, quadratic functions, differential equations of equilibrium in displacements, geometric linearity, geometric nonlinearity.

## Экспериментальные исследования

### Experimental studies

УДК 519.65:624.042 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.45.52

**А.П. ЛОКТИОНОВ**, д.т.н., проф. Юго-Западный государственный университет, г. Курск; e-mail: loapa@mail.ru  
**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА БАЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОД КОМБИНИРОВАННОЙ НАГРУЗКОЙ...45**

Рассмотрено математическое моделирование, численное и экспериментальное исследование информационно-измерительной системы для анализа балочных элементов строительной конструкции. Автор обобщает метод определения начальных параметров в обратной задаче Коши, ранее разработанный для консольной балки под концентрированной нагрузкой, на случаи комбинированных нагрузок. Проведен анализ влияния погрешности измерения прогибов на точность расчета целевых характеристик. Рассмотрено отклонение координат прогибомеров от координат точек альтернана полинома Чебышева первого рода.

**Ключевые слова:** балка, моделирование, прогибомер, информационно-измерительная система.

UDC 519.65:624.042 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.45.52. **INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS OF BEAM ELEMENTS UNDER COMBINED LOAD.** A.P. Loktionov, Southwest State University, Kursk; e-mail: loapa@mail.ru

**Abstract.** Mathematical modeling, numerical and experimental study of beam elements of a building structure are considered. The author generalizes the method for determining the initial parameters in the inverse Cauchy problem, previously developed for a beam under a concentrated load, to cases of combined loads. The analysis of the influence of the error of deflection meters on the accuracy of calculating the target characteristics is carried out. The deviation of the deflection meters from the alternance points for the Chebyshev polynomial is considered.

**Key words:** beam, modeling, deflection meter, information and measurement system.

## В помощь проектировщику

### To help the designer

УДК 624.072.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.53.61

**А.С. МАРУТЯН**, к.т.н., доцент Филлиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске; e-mail: al\_marut@mail.ru  
**ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОЯСАМИ СТУПЕНЧАТО-ПЕРЕМЕННЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ТРУБ...53**

Приведена закономерность по оптимизационному расчету унификационных зон применительно к поясам ступенчато-переменных сечений балочного типа с определением их конструктивных коэффициентов. Показана рациональность формирования этих поясов в ферменных конструкциях из прямоугольных труб за счет разницы во высот сечений, но их толщин при помощи стыковых сварных соединений на продольных прорезях. Инженерная методика расчета таких стыков, а также их несущая способность апробированы испытаниями на разрыв контрольных образцов. Универсальность технического решения сварных стыков с продольными прорезами обеспечивает их применение в конструкциях из трубчатых и прокатных профилей, сохраняет принятую компоновку стандартизированных ферм с бесфасоночными узлами и фланцевыми соединениями. Выявлено заметное сокращение конструкционного материала (стали) в стандартизированных фермах из гнутосварных профилей при замене поясов постоянных сечений поясами ступенчато-переменных сечений. Приведен сопоставительный расчет конструктивных коэффициентов и осредненных коэффициентов использования поясных элементов, когда протяженности унификационных зон и панелей поясов совпадают. Подтверждена достаточная корректность приближенной методики расчета для ее использования в решениях оптимизационных задач и вариантном проектировании несущих конструкций.

**Ключевые слова:** расчет оптимальных параметров, зоны унификации, ступенчато-переменные сечения, профильные трубы, гнутосварные профили, стержневые системы, фермы, легкие металлические конструкции.

UDC 624.072.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.53.61. **OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES WITH CHORDS OF STEP-VARIABLE CROSSSECTIONS MADE OF RECTANGULAR PIPES.** A.S. Marutyán, the Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Branch of the North Caucasus Federal University, Pyatigorsk; e-mail: al\_marut@mail.ru

**Abstract.** The article describes the regularity of the optimization calculation of unification zones in relation to beam chords of step-variable cross-sections with the determination of their design coefficients. The rationality of the formation of these chords in truss structures made of rectangular pipes is shown due to the difference not in the heights of the sections, but in their thicknesses with welded joints on the longitudinal slits. The engineering method for calculating such joints, as well as their load-bearing capacity, has been tested by tensile strength tests of the samples. The universality of the technical solution of welded joints with slits ensures their use in structures made of tubular and rolled profiles, and it preserves the accepted layout of standardized trusses with assemblies and flanged connections. The significant reduction in structural material (steel) in standardized trusses made of bent-welded profiles was revealed when chords of uniform cross-sections were replaced with chords of step-variable cross-sections. The article also gives the comparative calculation of the design coefficients and the averaged coefficients of chord elements use when the lengths of the unification zones and the belt panels coincide. Sufficient correctness of the approximate calculation method for solving optimization problems and variant design of load-bearing structures is confirmed.

**Key words:** calculation of optimal parameters, unification zones, step-variable cross-sections, profile pipes, bent-welded profiles, rod systems, trusses, light-weight metal structures.

УДК 692.48: 69.05 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.62.72

**А.А. ПОГОРЕЛЬЦЕВ**, к.т.н., **С.Б. ТУРКОВСКИЙ**, к.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; e-mail: pogara@yandex.ru  
**ЛИНЗОБРАЗНЫЕ ФЕРМЫ ИЗ КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ: ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ, ИСПЫТАНИЯ, РАСЧЁТ И ПРИМЕНЕНИЕ...62**

Линзообразные фермы являются эффективными и перспективными конструкциями, имеющими при больших пролетах ряд преимуществ в сравнении с фермами другого очертания. Основными узлами ферм являются опорные. В этих узлах возникают большие сдвигающие усилия. Традиционные виды соединений не обеспечивали требуемой надежности опорных узлов. Предложены четыре варианта опорных узлов и жесткие стыки ферм. Основу составляют соединения на наклонно клеенных стержнях. Приведены результаты испытаний опорного фрагмента фермы пролетом 30 м в натуральную величину. Получено напряженно-деформированное состояние опорного узла фермы. Доказана прочность и эффективность предложенной конструкции. Впервые фермы пролетом 24 м применены в 1983 г. для промздания в Волоколамске. Сборные фермы пролетом 48 м используются в спорткомплексе «Янтарь» в Москве. Две фермы их них были испытаны до разрушения. Приведены основные результаты. Экспериментально подтверждены большая жесткость ферм и расчетные предельные. Приведен алгоритм расчета жестких узлов сопряжения верхнего и нижнего поясов в приопорной зоне линзообразных ферм из клееной древесины, выполненных по системе «ЦНИИСК» на клеенных стержнях, в соответствии с положениями СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80». Рассмотрены два типа узлов. Перечислены объекты в России, перекрытые линзообразными фермами с характерными особенностями пролетом до 56 м.

**Ключевые слова:** жесткий узел, линзообразная ферма, клеенные стержни, выдергивание, смятие поперек волокон, несущая способность.

UDC 692.48: 69.05 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.62.72. **GLUED WOOD LENTICULAR TRUSSES DESIGN FEATURES, TESTING, STRUCTURAL ANALYSIS AND APPLICATION.** A.A. Pogoreltsev, S.B. Turkovskii, JSC «Research center «Construction» (Kucherenko TSNIISK), Moscow, Russia; e-mail: pogara@yandex.ru

**Abstract.** Lenticular trusses are effective and promising structures that have a number of advantages over trusses of a different shape covering large spans. The main nodes of the trusses are the support ones. At these nodes large shear forces occur. Traditional types of connections did not provide the required reliability of the support nodes. Four variants of support nodes and rigid joints of trusses are proposed. The basis is the connections with glued rods. The test results of the support node fragment of the truss with a span of 30 m in full size are presented. The stress-strain state of the truss support node is analyzed. The strength and effectiveness of the proposed design is proved. For the first time trusses with a span of 24 m were used in 1983 for an industrial building in Volokolamsk. Prefabricated trusses with a span of 48 m are used in the Yantar sports complex in Moscow. During tests, two of them were loaded until complete destruction. The main results are presented. The high rigidity of the trusses and the design assumptions are experimentally confirmed. The algorithm of analysis of rigid joints of the upper and lower belts in the supporting zone of lenticular trusses made of glued wood, designed according to the «TSNIISK» system with glued rods, in accordance with the provisions of SP 64.13330.2011 «Wooden structures». Two types of nodes are considered. Named objects in Russia, covered with lenticular trusses spans up to 56 m.

**Key words:** rigid joint, lenticular truss, glued rods, pulling out, crumpling across the fibers, load-bearing capacity.

УДК 624.042.8:519.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.73.78

**В.Л. ХАРЛАНОВ**, д.т.н., **С.В. ХАРЛАНОВА**, к.т.н. ИАиС ВолгГТУ, г. Волгоград; e-mail: harlanovvl@yandex.ru  
**МЕТОД ФИКТИВНЫХ РЕАКЦИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ...73**

Предложен итерационный метод расчета фланцевых соединений в конечно-элементной постановке. Суть предложенного метода заключается в выделении контактной задачи в отдельный локализованный процесс, зависящий только от начального распределения усилий от основной нагрузки на фланцевое соединение. В исходную матрицу жесткости несвязанных тел добавляется связующая матрица контакта с элементами большой жесткости. Расчет производится в два этапа: на первом этапе определяются перемещения от действительных нагрузок, на втором, посредством вектора фиктивных реакций, итерационно уточняются напряжения в контактирующих поверхностях. Проведено сравнение результатов, полученных по предложенному методу с экспериментом и с приближенным методом расчета.

**Ключевые слова:** деформируемое твердое тело, контактная задача, фланцевое соединение, МКЭ.

UDC 624.042.8:519.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.73.78. **THE METHOD OF FICTITIOUS REACTIONS IN THE MODELING OF THE CONTACT SURFACE ON THE EXAMPLE OF FLANGED CONNECTIONS.** V.L. Kharlanov, S.V. Kharlanova, Volgograd state technical University; e-mail: harlanovvl@yandex.ru

**Abstract.** An iterative method for calculating flanged connections in the finite element formulation is proposed. The essence of the proposed method is to separate the contact problem into a separate localized process that depends only on the initial distribution of forces from the main load on the flange connection. In the initial matrix of stiffness of unrelated bodies, a binding matrix of contact with elements of high rigidity is added. The calculation is performed in two phases: the first phase determines the movement of the actual loads on the second, through a vector of dummy reactions, iterative specified voltage at the contact surfaces. The results obtained by the proposed method are compared with the experimental results and with the approximate calculation method.

**Key words:** deformable solid, contact problem, flanged connection, FEM.

**N 3 за 2021 год**

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 624.072.21 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.2.11

**О.В. БОЛДЫРЕВА, к.т.н., Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: [boov@vandex.ru](mailto:boov@vandex.ru)**

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ...2**

Методом цифровой обработки образов определено наличие трещин в железобетонной балке. Измерение полей перемещений в заданной плоскости основано на измерении перемещения отдельных частиц, для чего образы этих частиц регистрируются на цифровую камеру. Получены поля перемещений, деформаций сдвига и объема, получена картина образования и раскрытия трещин, их численные значения. Построены кривые зависимости перемещений и ширины раскрытия трещин от нагрузки. Описан алгоритм обнаружения трещин в бетоне железобетонной балки. В экспериментальных исследованиях предполагается использование динамического отклика балки на импульсную нагрузку (удар), позволяющего классифицировать состояние балки — состояние с трещинами или без трещин. В работе дано описание экспериментальной установки, описан алгоритм определения повреждений, приведены результаты работы алгоритма.

**Ключевые слова:** метод цифровой обработки образов, определение перемещений, полосы сдвига, обнаружение повреждений конструкции, мониторинг строительных конструкций, виброускорение, авторегрессионная модель, анализ главных компонент, кластерный анализ.

UDC 624.072.21 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.2.11. **METHODS FOR DETERMINING CRACKS IN REINFORCED CONCRETE BEAMS.** O. V. Boldyreva, Pezen State University of Architecture and Construction; e-mail: [boov@vandex.ru](mailto:boov@vandex.ru)

**Abstract.** The presence of cracks in the reinforced concrete beam was determined by the method of digital image processing. The measurement of displacement fields in a given plane is based on the measurement of the movement of individual particles, for which the images of these particles are recorded on a digital camera. The fields of displacements, shear deformations, and volume are obtained, and the pattern of crack formation and opening, as well as their numerical values, are obtained. The curves of the dependence of the displacements and the width of the crack opening on the load are constructed. An algorithm for detecting cracks in the concrete of a reinforced concrete beam is described. In experimental studies, it is assumed to use the dynamic response of the beam to the impulse load (impact), which allows us to classify the state of the beam — the state with cracks or without cracks. The paper describes the experimental setup, describes the damage detection algorithm, and presents the results of the algorithm.

**Key words:** digital image processing method, displacement detection, shear bands, structural damage detection, monitoring of building structures, vibration acceleration, autoregressive model, principal component analysis, cluster analysis.

УДК 624.072.21 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.12.18

**В.А. КОМАРОВ, проф., к.т.н., О.В. БОЛДЫРЕВА, к.т.н., Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: [komarov58reg@vandex.ru](mailto:komarov58reg@vandex.ru)**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЖАТЫХ ПОЛОС БЕТОНА КОНСОЛЬНЫХ ОПОР РИГЕЛЕЙ С ПОДРЕЗКАМИ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСОВ...12**

Усовершенствован метод расчета сжатых полос бетона консольных опор ригелей с подрезками для многоэтажных сборных каркасов. Проведены экспериментальные исследования прочности сжатых полос бетона консольных опор ригелей при изменении длины условных грузовых площадок, образованных узлами сопряжения дополнительной сосредоточенной арматуры, устанавливаемой за подрезкой, с продольной арматурой ригеля при прелетах среза  $a < 2,5h_m$ . Численным методом исследовано напряженно-деформированное состояние бетона в сжатых полосах консольных опор ригелей, усовершенствовано построение стержневой модели сжатой полосы бетона короткой консоли ригеля на основе принятой нормативной методологии и гипотезы образования условных внутренних грузовых опор (площадок), разработаны практические рекомендации по расчету прочности сжатых полос бетона консольных опор ригелей многоэтажных каркасов.

**Ключевые слова:** многоэтажные каркасы, ригель с подрезкой, консольная опора, прочность сжатой полосы бетона, стержневая модель, метод расчета.

UDC 624.072.21 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.12.18. **STUDIES OF THE STRENGTH OF COMPRESSED CONCRETE STRIPS OF CANTILEVER SUPPORTS CROSSBARS WITH UNDERCUTS MULTI-STORY FRAMES.** V.A. Komarov, O.V. Boldyreva, Penzen State University of Architecture and Construction; e-mail: [komarov58reg@vandex.ru](mailto:komarov58reg@vandex.ru)

Improved method for calculating compressed concrete strips of cantilever crossbar supports with undercuts for multi-storey prefabricated frames. Experimental studies of the strength of compressed concrete strips of cantilever crossbar supports when changing the length of conditional loading platforms formed by the junctions of additional concentrated reinforcement installed behind the undercut with the longitudinal reinforcement of the crossbar at cross-section spans  $a < 2,5h_m$  are carried out. The stress-strain state of concrete in the compressed strips of cantilever crossbar supports is studied numerically, the construction of a rod model of a compressed concrete strip of a short crossbar console is improved on the basis of the accepted normative methodology and the hypothesis of the formation of conditional internal cargo supports (platforms), practical recommendations for calculating the strength of compressed concrete strips of cantilever crossbar supports of multi-storey frames are developed.

**Key words:** multi-storey frames, crossbar with pruning, cantilever support, strength of compressed concrete strip, rod model, calculation method.

УДК 692.44/47 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.18.23

**Н.С. НОВОЖИЛОВА<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Е.С. МИХАЙЛОВА<sup>2</sup>, магистр, вед.специалист<sup>1</sup> Санкт-Петербургский ГАСУ, <sup>2</sup>Ф ПАО «ГМК «Норильский никель»; e-mail: [nsn01@list.ru](mailto:nsn01@list.ru)**

**ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО ПЕРЕКРЕСТНОЙ АРОЧНОЙ СИСТЕМОЙ, ПРИ ДЕЙСТВИИ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ НАГРУЗОК...18**

В настоящее время при строительстве зданий и сооружений промышленного, гражданского и транспортного назначения широко применяются покрытия больших пролетов. Также зачастую встает вопрос увеличения пролетов и высвобождения внутреннего пространства при реконструкции зданий. Конструктивное решение покрытия в виде перекрестных арочных систем было основано на доказанных преимуществах применения перекрестных балочных систем (кессонных перекрытий). Перекрестные арочные системы обеспечивают более эффективную работу конструкции при равномерно и неравномерно распределенных нагрузках, позволяют передавать значительные сосредоточенные симметричные нагрузки непосредственно на покрытие вдоль арок в обоих направлениях от подвесного транспортного оборудования или конструкций надстройки при реконструкции зданий. На основании проведенных исследований напряженного состояния при моделировании перекрестных арочных систем под действием сосредоточенных нагрузок при различных вариантах их приложения выявлено, что снижение усилий в элементах перекрестной арочной системы по сравнению с обычной арочной конструкцией покрытия составляет в среднем 30—40%.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции; арочные покрытия; простанственные конструкции; перекрестные арочные системы, сосредоточенные нагрузки, напряженное состояние.

UDC 692.44/47 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.18.23. **FEATURES OF THE TENSE STATE OF THE COATING, FORMED BY THE CROSS-ARCH SYSTEM, WHEN CONCENTRATED LOADS ARE IN PLACE.** N.S. Novozhilova<sup>1</sup>, E.S. Mikhailova<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Saint-Petersburg state university of architecture and civil engineering, <sup>2</sup>JSC «MMC «NORILSK NICKEL»; e-mail: [nsn01@list.ru](mailto:nsn01@list.ru)

**Abstract.** Currently, in the construction of buildings and structures of industrial, civil and transport purposes, large spans are widely applied. In the same way, it is often the question of increasing the spans and the release of the internal space during the reconstruction of buildings. The constructive solution of the coating in the form of cross-arched systems was based on proven advantages of applying crossbeam systems (caisson overlappings). Cross-arched systems provide more efficient design work with evenly and unevenly distributed loads, allow to transmit significant focused symmetric loads directly to the coating along the arches in both directions from the suspended transport equipment or the superstructure designs during the reconstruction of buildings. Based on the conducted studies of the intense state in modeling cross-arched systems under the action of concentrated loads at various embodiments of their application, it was revealed that a decrease in force in the elements of the cross-arched system compared to the conventional arched coating structure is an average of 30—40%.

**Key words:** reinforced concrete structures; arched coatings; spatial structures; Cross arched systems, focused loads, stressful state.

УДК 624.042: 517.926 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.24.37

**А.Н. ПОТАПОВ, д.т.н., профессор, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; e-mail: [potapov.alni@gmail.com](mailto:potapov.alni@gmail.com)**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ КВАДРАТИЧНОГО ВИДА В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ: АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОДХОДА...24**

На примере частной задачи колебаний дискретной диссипативной системы (ДДС), для которой разработан подход к интегрированию системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), связанный с анализом соответствующего характеристического матричного квадратного уравнения (МКУ), рассмотрен ряд краевых задач строительной механики, в решении которых может быть задействован разработанный алгоритм. В начале статьи дано краткое изложение подхода к интегрированию ОДУ движения ДДС, приведены основные соотношения для характеристического МКУ и аналитическое представление решения МКУ, позволившие создать строгий математический аппарат в рамках теории временного анализа. В качестве краевых задач строительной механики рассмотрены наиболее распространенные задачи, уравнения которых представлены основными операторами теории упругости: оператором Лапласа и бигармоническим оператором. Переход от сложных уравнений в частных производных к более простым ОДУ осуществлен на примере использования вариационного метода Власова—Канторовича и его различных модификаций. Приведены математические модели следующих краевых задач: задачи растяжения мембраны и кручения призматического стержня, задачи технической теории пластин (изгиба, устойчивости и собственных колебаний), задача изгиба пластины из нелинейно-упругого материала, плоская задача теории упругости, ряд вариационных задач технической теории оболочек (цилиндрических ортотропных оболочек средней длины и пологих оболочек). Кроме того, приведены модели начально-краевых задач из теории динамического анализа сооружений. Рассмотрены колебания дискретно-континуальных пространственных систем с расчетной схемой многоэтажных зданий, колебания высотных сооружений типа оболочек вращения, колебания конструктивно-нелинейных и физически нелинейных систем.

**Ключевые слова:** краевая задача, пластина, оболочка, диссипативная система, непропорциональное демпфирование, матричное квадратное уравнение, дифференциальный оператор, матрица.

UDC 624.042: 517.926 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.24.37. **THE USE OF AN ALGEBRAIC PROBLEM OF QUADRATIC TYPE IN STRUCTURAL MECHANICS PROBLEMS: ANALYSIS AND PERSPECTIVES OF APPROACH.** A.N. Potapov, South-Ural State University; e-mail: [potapov.alni@gmail.com](mailto:potapov.alni@gmail.com)

**Abstract.** On the example of a particular problem of oscillations of a discrete dissipative system (DDS), for which an approach to the integration of a system of ordinary differential equations (ODE) is developed, associated with the analysis of the corresponding characteristic matrix quadratic equation (MQE), a number of boundary value problems of structural mechanics are considered, in the solution of which the developed algorithm can be used. At the beginning of the article, a brief summary of the approach to the integration of the ODE of the motion of a DDS is given, the main relations for the characteristic MCU and the analytical presentation of the MCU solution are given, which made it possible to create a rigorous mathematical apparatus in the field of the theory of time analysis. As boundary value problems of structural mechanics, the most common problems are considered, the equations of which are represented by the main operators of the theory of elasticity: the Laplace operator and the biharmonic operator. The transition from complex partial differential equations to simpler ODE is carried out on the example of using the Vlasov — Kantorovich variational method and its various modifications. Mathematical models of the following boundary value problems are presented: the problems of membrane tension and torsion of a prismatic rod, problems of the technical theory of plates (bending, stability and natural vibrations), the problem of bending a plate made of a nonlinear elastic material, a plane problem of the theory of elasticity, variational problems of the technical theory of shells (cylindrical orthotropic shells of medium length and shallow shells). In addition, models of initial-boundary value problems from the theory of dynamic analysis of structures are presented. Oscillations of discrete-continuous spatial systems with a design scheme of multi-storey buildings, oscillations of high-rise structures such as shells of revolution, oscillations constructive-nonlinear systems and physically nonlinear systems are considered.

**Key words:** boundary value problem, plate, shell, dissipative system, non-proportionate damping, matrix quadratic equation, differential operator, matrix.

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.37.45

М.И. ФАРФЕЛЬ, к.т.н., АО «НИЦ «Строительство» ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко, НИУ МГСУ, г. Москва; e-mail: [farfelmi@vandex.ru](mailto:farfelmi@vandex.ru)  
МЕМБРАННЫЕ ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЙ МАССОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ...37

В статье представлены типы мембранных покрытий для зданий массового назначения. Основной составной частью таких покрытий является мембранная панель на квадратном или прямоугольном планах. Рассмотрен механизм передачи цепных усилий с мембраны на контур с объяснением появления, вследствие этого, внутренних усилий в нем. Рассмотрены возможные типы стабилизации мембранных покрытий от ветрового «отсоса» и неравномерных нагрузок. Приведены примеры испытания двускатного блока, составленного из мембранных панелей, на равномерную и неравномерную нагрузку. Описаны материалы, применяемые для изготовления мембран, и указаны перспективные направления их применения. Показаны примеры расчета двускатных блоков с применением мембранных панелей при примыкании мембран непосредственно к верхней и нижней полкам контура. Даны примеры сооруженных мембранных покрытий для зданий пролетами до 48 м сельскохозяйственного и складского назначения.

**Ключевые слова:** мембрана, опорный контур, стабилизация, цепные усилия, нержавеющей сталь, мембранное покрытие, мембранная панель, стальной каркас, геометрическая нелинейность системы. UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.37.45. MEMBRANE COATINGS FOR MASS-USE BUILDINGS. M.I. Farfel, TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC «NITS «Stroitelstvo» Research Center of Construction, Moscow; e-mail: [farfelmi@vandex.ru](mailto:farfelmi@vandex.ru)

**Abstract.** The article presents the types of membrane coatings for mass-use buildings. The main component of such coatings is a membrane panel on a square or rectangular plan. The mechanism of transmission of chain forces from the membrane to the circuit is considered with an explanation of the appearance, as a result, of internal forces in it. Possible types of stabilization of membrane coatings from wind «suc-tion» and non-equilibrium loads are considered. Examples of testing a gable block made up of membrane panels for a uniform and uneven load are given. The materials used for the manufacture of membranes are described and promising areas of their application are indicated. Examples of the calculation of gable blocks with the use of membrane panels when the membrane is adjacent directly to the upper and lower shelves of the contour are shown. Examples of constructed membrane coverings for buildings with spans of up to 48 m for agricultural and warehouse purposes are given.

**Key words:** membrane, support circuit, stabilization, chain forces, stainless steel, membrane coating, membrane panel, steel frame, geometric non-linearity of the system.

[Нелинейные расчеты](#)

[Nonlinear calculations](#)

УДК 534.012 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.46.53

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: [bakuchsv@mail.ru](mailto:bakuchsv@mail.ru)  
УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИЙ В СТЕРЖНЯХ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ...46

Рассматривается построение динамических дифференциальных уравнений равновесия в стержнях с постоянным или слабо переменным поперечным сечением. Материал стержня описывается уравнениями геометрически и физически нелинейной теории упругости В.В. Новожилова. Физические соотношения при этом имеют форму произвольных перекрестных зависимостей между первыми инвариантами тензоров и вторыми инвариантами девиаторов напряжений и деформаций для геометрически линейной модели, и форму произвольных перекрестных зависимостей между первыми инвариантами тензоров и вторыми инвариантами девиаторов обобщенных напряжений и нелинейных деформаций для геометрически нелинейной модели. Получены уравнения характеристик и соотношений на них для представленных динамических уравнений равновесия, что позволяет определить скорости распространения нелинейно-упругопластических волн деформаций. Динамические дифференциальные уравнения в перемещениях, описывающие процесс распространения плоских одномерных нелинейно-упругопластических волн деформаций в стержнях с постоянным или слабо переменным поперечным сечением, материал которых описывается уравнениями физически и геометрически нелинейной теории упругости, могут найти применение при решении динамических задач, связанных как с соударением стержней, так и с ударом стержня о неподвижную преграду.

**Ключевые слова:** стержень переменного сечения, волны деформаций, дифференциальное уравнение равновесия в перемещениях, геометрическая линейность, геометрическая нелинейность. UDC 534.012 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.46.53. ELASTICO-PLASTIC WAVES OF DEFORMATIONS IN BARS OF VARIABLE CROSS-SECTION. S.V. Bakushev, The Penza state university of architecture and construction; e-mail: [bakuchsv@mail.ru](mailto:bakuchsv@mail.ru)

**Abstract.** The construction of dynamic differential equations of equilibrium in bars with a constant or weakly variable cross section is considered. The bar material is described by the equations of geometrically and physically nonlinear V.V. Novozhilov's theory of elasticity. Physical relations in this case have the form of arbitrary cross-dependencies between the first invariants of tensors and the second invariants of stress and strain deviators for a geometrically linear model, and the form of arbitrary cross-dependencies between the first invariants of tensors and the second invariants of generalized stress and nonlinear deformation deviators for a geometrically nonlinear model. Equations of characteristics and ratios in them for the presented dynamic equilibrium equations have been received, which makes it possible to determine the propagation velocities of nonlinear-elastoplastic deformation waves. Dynamic differential equations in displacements describing the process of propagation of plane one-dimensional nonlinear-elastoplastic deformation waves in bars with a constant or weakly variable cross-section, the material of which is described by equations of physically and geometrically nonlinear theory of elasticity, can be applied in solving dynamic problems related both to the collision of bars and with the impact of the bar on a fixed obstacle.

**Key words:** bar of variable cross-section, deformation waves, differential equilibrium equation in displacements, geometric linearity, geometric nonlinearity.

УДК 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.54.65

С.В. БОСАКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., проф., В.Н. СИМБИРКИН<sup>2</sup>, к.т.н., А.И. МОРДИЧ<sup>3</sup>, к.т.н., иностр.член РААСН, <sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, г.Минск, Беларусь, <sup>2</sup>ООО «ЕВРОСОФТ», г.Москва, Россия, <sup>3</sup>ООО «БЭСТинжиниринг», г.Минск, Беларусь; e-mail: [sevibo@yahoo.com](mailto:sevibo@yahoo.com)

К ОЦЕНКЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ СЕЧЕНИЙ РИГЕЛЕЙ В СТВОРАХ КОНТАКТНЫХ ШВОВ СБОРНО-МОНОЛИТНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ДИАФРАГМЫ ЖЕСТКОСТИ...54

В работе рассматривается задача о напряженном состоянии стыка вертикальной диафрагмы жесткости и монолитного ригеля в сборно-монолитном каркасе. Подобная задача возникает, например, при использовании известной конструктивной системы сборно-монолитного каркаса АРКОС в узле соединения несущего монолитного ригеля и сборной панели диафрагмы жесткости. Подробно и обстоятельно рассматриваются и анализируются результаты расчетов по российским, белорусским и зарубежным нормам. Выполняется сопоставление с результатами экспериментальных исследований по срезу в контактном шве между колонной, диафрагмой жесткости и монолитным перекрытием. Поднимаются вопросы уточнения величин расчетных усилий и армирования, содержания существующих нормативных документов. Приводится обширный экспериментальный и нормативный материал в табличном и аналитическом виде. В выводах рекомендуется из-за важности и актуальности рассматриваемых в статье вопросов продолжить теоретические и экспериментальные исследования в этой области и совершенствовать отечественную нормативную базу.

**Ключевые слова:** сборно-монолитный каркас, диафрагма жесткости, монолитный ригель, контактный шов. UDC 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.54.65. TO PREDICTION OF A BEAM SHEAR RESISTANCE ON THE LINES OF CONTACT JOINTS OF A MIXED PRECAST AND IN-SITU SHEAR WALL. S.V. Bosakov<sup>1</sup>, V.N. Simbirkin<sup>2</sup>, A.I. Mordich<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, <sup>2</sup>EUROSOFT, Moscow, Russia, <sup>3</sup>BESTEngineering, Minsk, Belarus; e-mail: [sevibo@yahoo.com](mailto:sevibo@yahoo.com)

**Abstract.** The paper deals with a problem of the stress state of the joint of column, shear wall and monolithic beam in a mixed reinforced concrete frame. A similar problem exists, for example, when using a well-known ARKOS mixed structural system. The results of calculations according to Russian, Belarusian and foreign building codes are considered and analyzed in detail. A comparison is made with the results of experimental studies on the shear in the contact joint between the column, the shear wall and the in-situ floor plate. The important questions of clarification of the values of design forces and reinforcement, the content of existing normative documents are discussed. In order to confirm its conclusions, the article provides extensive experimental and normative material in tabular and analytical form. The conclusions recommend, due to the importance and relevance of the issues considered in the article, to continue theoretical and experimental research in this area and to improve the standard code regulations.

**Key words:** mixed precast and in-situ reinforced concrete frame, shear wall, monolithic beam, contact joint.

[Динамические расчеты](#)

[Dynamic calculations](#)

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.66.70

С.В. БОСАКОВ, д.т.н., проф., Белорусский национальный технический университет, РУП "Институт БелНИИС" г.Минск, e-mail: [Sevibo@yahoo.com](mailto:Sevibo@yahoo.com)  
СМЕШАННЫЙ МЕТОД СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ ПЛАСТИНОК...66

В работе изложено применение смешанного метода строительной механики для решения задач динамики на примере прямоугольной пластинки. Пластинка шарнирно оперта по углам и на ней расположен механизм с прямоугольной жесткой опорной поверхностью, на который симметрично действует внешняя гармоническая сила. Механизм по углам опирается на четыре виброизолятора с заданной жесткостью. Последовательно показано, как на основании смешанного метода строительной механики определяются частоты и формы собственных колебаний механизма, усилия в виброизоляторах и прогибы несущей пластинки при установившемся процессе вынужденных колебаний. Отдельно рассмотрен переходной процесс начала колебаний, где на основании принципа Д'Аламбера составлена и численно решена система трех обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка с неизвестными линейным и угловыми перемещениями механизма. Приводятся численные результаты для прямоугольной, опертой по углам железобетонной пластинки с расположенным на ней механизмом на виброизоляторах. Полученные теоретические подходы также можно использовать с небольшими изменениями при динамических расчетах стержневых систем и кинематическом возбуждении несущих конструкций движущего транспорта.

**Ключевые слова:** смешанный метод, свободные и вынужденные колебания, переходной процесс, прямоугольная пластинка, виброизолятор. UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.66.70. THE MIXED METHOD OF CONSTRUCTION MECHANICS IN THE PROBLEMS OF PLATE DYNAMICS. S.V. Bosakov, Belarusian National Technical University, Minsk; e-mail: [Sevibo@yahoo.com](mailto:Sevibo@yahoo.com)

**Abstract.** The paper describes the application of the mixed method of structural mechanics for solving problems of dynamics on the example of a rectangular plate. The plate is hinged supported at the corners and a mechanism with a rectangular rigid support surface is located on it, on which an external harmonic force acts symmetrically. The mechanism at the corners is supported by four vibration isolators with a given stiffness. It is consistently shown how, on the basis of the mixed method of structural mechanics, the frequencies and forms of natural vibrations of the mechanism, the forces in vibration isolators and the deflections of the bearing plate are determined during the steady process of forced vibrations. Separately, the transient process of the beginning of oscillations is considered, where, on the basis of the D'Alembert principle, a system of three ordinary differential equations of the second order with unknown linear and angular displacements of the mechanism is compiled and numerically solved. Numerical results are given for a rectangular reinforced concrete plate supported at corners with a mechanism located on it on vibration dampers. The obtained theoretical approaches can also be used with minor changes in dynamic calculations of rod systems and kinematic excitation of supporting structures of moving vehicles.

**Key words:** mixed method, free and forced vibrations, transient process, rectangular plate, vibration isolator.

[Геометрические расчеты](#)

[Geometric calculations](#)

УДК 514.74:72.01 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.71.77

Е.А. ГРИНЬКО, инж. Российский университет дружбы народов (РУДН), г. Москва e-mail: [grinechka@mail.ru](mailto:grinechka@mail.ru)  
ПОВЕРХНОСТИ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПЕРЕНОСА КОНГРУЭНТНЫХ КРИВЫХ...71

И.И. Котов (МАИ) в 1972 году предложил выделить кинематические поверхности плоскопараллельного переноса, поверхности вращения, резные поверхности Монжа, циклические поверхности с образующей окружностью постоянного радиуса, ротативные, спироидальные и винтовые поверхности в отдельный класс поверхностей конгруэнтных сечений. Целью исследования является получение обобщенных параметрических уравнений поверхностей конгруэнтных сечений маятникового типа на цилиндрах при плоскопараллельном переносе подвижных жестких кривых. Методы исследования. Используются методы аналитической и дифференциальной геометрии. Для визуализации поверхностей применяются системы MathCad и AutoCad. Результаты исследования заключаются в выводе параметрических уравнений исследуемых поверхностей в общем виде, удобном для использования методов компьютерного моделирования. Методика продемонстрирована на двух примерах с полукруглыми и параболическими конгруэнтными кривыми. В заключении отмечается возможность использования полученных форм поверхностей в параметрической архитектуре и архитектуре свободных форм.

**Ключевые слова:** дифференциальная геометрия поверхностей, поверхность плоскопараллельного переноса, аналитические методы в геометрии, компьютерное моделирование, визуализация поверхностей.

UDC 514.74:72.01 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.3.71.77. **SURFACES OF PLANE-PARALLEL TRANSFER OF CONGRUENT CURVES.** E.A. Grinko, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow; e-mail: [grinechka@mail.ru](mailto:grinechka@mail.ru)

**Abstract.** Introduction. I.I. Kotov (MAI) in 1972 proposed to distinguish kinematic surfaces of plane-parallel transfer, surfaces of revolution, Monge's carved surfaces, cyclic surfaces with a generating circle of constant radius, rotative, spiroidal and helical surfaces into a separate class of surfaces of congruent sections. The aim of the study is to obtain generalized parametric equations of surfaces of congruent sections of the pendulum type on cylinders with plane-parallel transfer of moving rigid curves. Research methods. Methods of analytical and differential geometry are used. The systems MathCad and AutoCad are used to visualize surfaces. The results of the study consist in the derivation of parametric equations of the studied surfaces in a general form that is convenient for using in computer modeling methods. The technique is demonstrated in two examples with semicircular and parabolic congruent curves. In conclusion, the possibility of using the obtained surface forms in parametric architecture and free-form architecture is noted.

**Key words:** differential geometry of surfaces, plane-parallel transfer surface, analytical methods in geometry, computer modeling, visualization of surfaces.

[Памяти ученого](#)  
[Memories of the scientist](#)

**ПАМЯТИ ПАВЛА ДМИТРИЕВИЧА ОДЕССКОГО...78**  
**MEMORY PAVEL DMITRIEVICH ODESSKY...78**

**№ 4 за 2021 год**

[Расчеты на прочность](#)  
[Strength calculations](#)

УДК 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.2.11

**Е.М. ЗВЕРЯЕВ<sup>1,2</sup>, д.т.н., А.В. ПЫХТИН<sup>2</sup>, к.т.н., ХОА ВАН ДОНГ<sup>2</sup>, аспирант<sup>1</sup> Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, <sup>2</sup>Московский авиационный институт, Москва; e-mail: [zveriaev@mail.ru](mailto:zveriaev@mail.ru)**

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ УПРУГОЙ ПЛАСТИНЫ...2**

Строится асимптотическое по малому параметру толщины решение трехмерной задачи теории упругости для прямоугольной пластины. Система уравнений преобразуется к итерационному виду, позволяющему вычислить все неизвестные задачи через последовательность операторов Пикара первого порядка. Полученные при выполнении граничных условий на лицевых сторонах пластины уравнения разделяются на медленно меняющиеся классические и быстро меняющиеся типа краевого эффекта. Решение быстро меняющихся уравнений служит для выполнения граничных условий, пренебрегаемых в классической теории изгиба пластин, описываемой медленно меняющимися уравнениями. Решение свободно от недостатков классической теории, построенной на гипотезах и допущениях. Предполагается, что асимптотическое решение удовлетворяет условиям сходимости теоремы Банаха о неподвижной точке.

**Ключевые слова:** пластина, пространственная задача, краевой эффект, принцип сжатых отображений, итерации, малый параметр, метод Сен-Венана–Пикара–Банаха.

UDC 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.2.11. **SPATIAL PROBLEM FOR RECTANGULAR ELASTIC PLATE.** E.M. Zveriaev<sup>1,2</sup>, A.V. Pyhtyn<sup>2</sup>, Hoa Van Dong<sup>2</sup>, Keldysh institute of applied mathematics RAS, Moscow, <sup>2</sup>Moscow aviation institute, Moscow; e-mail: [zveriaev@mail.ru](mailto:zveriaev@mail.ru)

**Abstract.** An asymptotic with respect to a small parameter of thickness solution for a three-dimensional problem of the theory of elasticity for a rectangular plate is constructed. The system of equations is converted to an iterative form that allows one to calculate all unknown problems through a sequence of first-order Picard operators. The equations obtained when the boundary conditions on the front sides of the plate are satisfied are divided into slowly varying classical and rapidly changing types of edge effect. The rapidly changing ones serve to fulfill the boundary conditions that are neglected in the classical theory of plate bending. The shortcomings of the built on hypotheses and assumptions classical theory are absent. It is assumed that the asymptotic solution satisfies the convergence conditions of the Banach fixed point theorem.

**Key words:** plate, spatial problem, boundary effect, contraction mapping principle, iterations, small parameter, Saint-Venant-Picard-Banach method.

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.12.16

**В.А. ИГНАТЬЕВ, д.т.н., А.В. ИГНАТЬЕВ, д.т.н., И.С. ЗАВЬЯЛОВ, аспирант Волгоградский государственный технический университет; e-mail: [alignat70@yandex.ru](mailto:alignat70@yandex.ru)**  
**АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ИЗГИБАЕМОЙ ПЛАСТИНКИ НА ОСНОВЕ МКЭ В ФОРМЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕШАННОГО МЕТОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЯМОУГОЛЬНОГО КЭ С ЧЕТЫРЬМЯ ОСНОВНЫМИ НЕИЗВЕСТНЫМИ В УГЛАХ...12**

В статье приведены результаты исследования эффективности применения прямоугольного изгибаемого конечного элемента с четырьмя основными неизвестными в каждом из его углов в расчете пластинки по МКЭ в форме классического смешанного метода, развиваемого авторами. Описан алгоритм расчета: построение матрицы откликов КЭ и вектора узловых воздействий, составление разрешающих уравнений и их решение. Приведен пример расчета пластинки, из которого следует вывод о том, что даже при конечно-элементной сетке 2×2 точность расчета практически такая же, как и при решении по традиционному МКЭ в перемещениях при сетке 4×4.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов в форме классического смешанного метода, изгиб пластинки, алгоритм, пример расчета.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.12.16. **THE ALGORITHM FOR CALCULATING A BENDED PLATE BASED ON THE FEM IN THE FORM OF THE**

**CLASSICAL MIXED METHOD USING A RECTANGULAR FE WITH FOUR MAIN UNKNOWN IN THE CORNERS.** V.A. Ignatyev, A.V. Ignatyev, I.S. Zavyalov, Volgograd state technical university; e-mail: [alignat70@yandex.ru](mailto:alignat70@yandex.ru)

**Abstract.** The article presents the results of a study of the effectiveness of using a rectangular bendable finite element with four main unknowns in each of its angles in the calculation of the plate by the FEM in the form of the classical mixed method developed by the authors. The calculation algorithm is described: the construction of the FE response matrix, and the vector of nodal effects, the compilation of resolving equations and their solution. An example of plastic calculation is given, from which it follows that even with a finite element grid of 2×2, the calculation accuracy is almost the same as when solving according to the traditional FEM in displacements with a 4×4 grid.

**Key words:** Finite element method in the form of the classical mixed method, plate bending, algorithm, calculation example.

УДК 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.17.24

**О.В. КОЗУНОВА, к.т.н., доцент<sup>1</sup>, докторант<sup>2</sup> БелГУТ, г.Гомель, <sup>2</sup>БНТУ, г.Минск, Республика Беларусь; e-mail: [kazunova@gmail.com](mailto:kazunova@gmail.com)**

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ПЛОСКИХ РАМ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ НАГРУЗКУ...17**

Предлагаются к обсуждению новые постановки задач статического расчета плоских рам на упругом основании на пространственную нагрузку, как расчетных моделей ленточных фундаментов под многоэтажные здания и сооружения. Приводится алгоритм решения этих задач смешанным методом строительной механики с использованием соотношений способа Б.Н. Жемочкина и некоторые численные результаты, полученные при помощи компьютерной программы Mathematica. Отметим, что вопросы расчета плоских рам, опирающихся на упругое основание, на пространственную нагрузку до настоящего времени не исследованы в полной мере. Автору известны работы только Б.Н. Жемочкина, М.И. Горбунова-Посадова, И.А. Симвулиди, С.Н. Клепикова, С.Д. Семенова, в которых различными подходами проведены исследования по расчету вертикальных плоских рам [1-3], изолированных фундаментных, в том числе сетчатых плит [2], а также пространственных монолитных фундаментов как системы перекрестных лент на упругом основании [4, 5] на вертикальную нагрузку. Причем деформации кручения стержней строго учитывались только в работах С.Д. Семенова. Методика расчета плоских рам на упругом основании, приводимая в работе автора, основана на смешанном методе строительной механики с использованием функций влияния Жемочкина. Для определения коэффициентов и свободных членов канонических уравнений в расчете используются соотношения для прогибов балок, как стержневых элементов с защемлением в жестких узлах сопряжения.

**Ключевые слова:** ленточные фундаменты, плоские рамы, расчетная модель, система перекрестных лент, упругое основание, смешанный метод, метод Ритца, функции влияния Жемочкина, осадки, контактные напряжения.

UDC 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.17.24. **SOME QUESTIONS OF CALCULATION OF PLANE FRAMES ON AN ELASTIC BASE ON SPATIAL LOAD.** O.V.

Kozunova, BelSUT, Gomel, BNTU, Minsk; e-mail: [kazunova@gmail.com](mailto:kazunova@gmail.com)

**Abstract.** The paper proposes for discussion new formulations of the problems of static calculation of flat frames on an elastic foundation for a spatial load, as design models of strip foundations for multi-storey buildings and structures. An algorithm for solving these problems by the mixed method of structural mechanics using the relations of the method of B.N. Zhemochkin and some numerical results obtained using the computer program Mathematica are presented. Note that the issues of calculating flat frames based on an elastic foundation on a spatial load have not yet been fully investigated. The author knows the works of only B.N. Zhemochkin, M.I. Gorbunova-Posadova, I.A. Simvulidi, S.N. Klepikova, S.D. Semenyuk, in which various approaches were used to study the calculation of vertical flat frames, isolated foundation slabs, including mesh slabs, as well as spatial monolithic foundations, as a system of cross belts on an elastic foundation for a vertical load. Moreover, the torsional deformations of the rods were strictly taken into account only in the works of S.D. Semenyuk. The method for calculating flat frames on an elastic foundation, given in the author's work, is based on the mixed method of structural mechanics using Zhemochkin's influence functions. To determine the coefficients and free terms of the canonical equations, the calculation uses the ratios for the deflections of beams as bar elements with restraint in rigid junctions.

**Key words:** strip foundations, flat frames, design model, system of cross belts, elastic foundation, mixed method, Ritz method, Zhemochkin's influence functions, settlements, contact stresses.

УДК 69.01 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.24.30

**В.П. ШАРКОВ, к.т.н., доцент, ст. науч. сотр. Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева; e-mail: V.P.Sharkov@mail.ru**  
**ОБ АСИМПТОТИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИНАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В СИЛОСАХ ПРИ ИХ ОПОРОЖНЕНИИ (ДЛЯ СЛУЧАЯ ШЕРОХОВАТЫХ СТЕН)...24**

Новизной работы является то, что для выявленного автором экстремально напряженно-деформированного состояния (НДС), возникающего при опорожнении силосов, впервые получены величины вертикального давления заполнителя, в том числе эпюра и среднее его значение. Имеющиеся по этой теме формулы не учитывают возникающего при этом скачкообразного повышения касательных напряжений (до величин главных) и горизонтального давления. Полученная эпюра давления по отношению к статической оригинальна, имеет с ней разрыв; ее очертание имеет параболическую форму с минимальной ординатой в центре. Результаты получены для шероховатых стен в силосах круглого сечения большой высоты, а давления – для асимптотических значений. При переходе из исходного в экстремальное НДС скачкообразное падение вертикального давления может быть многократным: среднего – до 4,7 раза, а у оси силоса – до 12,4 раза. Такие масштабные скачки давлений, возникающие при сдвиге заполнителя у стен, могут являться источником динамических воздействий, способствующих дальнейшему опорожнению силоса.

**Ключевые слова:** силос, выгрузка, вертикальные давления, скачок давлений, расчеты, экстремальное НДС, эпюры, диаграмма Мора.

UDC 69.01 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.24.30. **ABOUT ASYMPTOTIC VALUES OF VERTICAL PRESSURE IN SILOS DURING THEIR EMPTYING (FOR THE CASE OF ROUGH WALLS).** V.P. Sharkov, Russian state agrarian university – Moscow state agricultural academy named after K.A. Timiryazev; e-mail: V.P.Sharkov@mail.ru

**Abstract:** The novelty of the work is that for the identified by the author the extreme stress-strain state (SSS) that occurs during the emptying of silos, the values of the vertical pressure of the filler were obtained for the first time, including the diagram and its averaged value. The formulas available on this topic do not take into account the resulting abrupt increase in shear stresses (up to the main values) and horizontal pressure. The resulting pressure diagram with respect to the static one is original, has a break with it; its outline has a parabolic shape with a minimum ordinate in the center. The results were obtained for rough walls in silos with a circular cross-section of high heights, and pressures – for asymptotic values. In the transition from the initial to the extreme stress-strain state, the jump-like drop in vertical pressure can be multiple: average – up to 4.7 times, and at the silo axis – up to 12.4 times. Such large-scale pressure surges that occur when the aggregate moves against the walls can be a source of dynamic influences that contribute to the further emptying of the silo.

**Key words:** silo, unloading, vertical pressures, pressure, jump calculations, extreme stress-strain state, diagrams, Mohr diagram.

[Деформационные расчеты](#)

[Deformation calculations](#)

УДК 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.31.36

**В.В. МИЩЕНКО, главный специалист АО «КОНЦЕРН ТИТАН-2»; e-mail: mat\_c@mal.ru**  
**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ...31**

Введено понятие «действующего» тяжения в проводе для замены приближенного «среднего» значения, используемого для определения упругой деформации провода.

«Действующее» тяжение вызывает упругую деформацию гибкой растяжимой нити, равнозначную деформации под действием фактического тяжения, неравномерного по длине нити. Представлена формула для «действующего» тяжения в проводе.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, провод ВЛ, механический расчет провода.

UDC 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.31.36. **ON THE ISSUE OF DETERMINING THE ELASTIC DEFORMATION OF WIRES AND CABLES.** V.V. Mishchenko, CONCERN TITAN-2; e-mail: mat\_c@mal.ru

**Abstract.** The concept of “effective value” tension in the wire is introduced to replace the approximate “average” value used to determine the elastic deformation of the wire. “Effective value” tension causes elastic deformation of the flexible tensile thread, which is equivalent to deformation under the action of the actual tension, which is not uniform along the length of the thread. The formula for the “effective value” tension in the wire is presented.

**Key words:** power line, overhead wire, mechanical wire calculation.

[Численные расчеты](#)

[Numerical calculations](#)

УДК 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.36.43

**А.Н. ПОПОВ, аспирант, А.Д. ЛОВЦОВ, д.т.н. Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск; E-mail: sanyapov@mail.ru**  
**КОНТАКТ С ТРЕНИЕМ В ЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ С УЧЕТОМ ЗАЗОРОВ...36**

Рассматривается моделирование контактного взаимодействия деформируемых тел с учетом начального зазора. Задача ставится как линейная задача дополнителности (ЛЗД)

[1]. Предмет исследования – расширение существующей постановки задачи [2] на решение контактных задач с учетом зазоров. Проведена серия расчетов задач и сравнение полученных решений с программным комплексом ANSYS, часть из которых приведена в статье. Разобраны достоинства и недостатки предлагаемого подхода.

**Ключевые слова:** конструктивная нелинейность, контакт с трением, односторонние связи, линейная задача дополнителности, зазор, численные модели, метод конечных элементов.

UDC 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.36.43. **FRICTIONAL CONTACT IN THE LINEAR COMPLEMENTARITY PROBLEM WITH GAPS ACCOUNT.** A.N. Popov, A.D. Lovtsov, Pacific National University, Khabarovsk; e-mail: sanyapov@mail.ru

**Abstract.** Considers the modeling of contact interaction of deformable bodies taking into account the initial gap. The problem is set as the linear complementarity problem (LCP) [1]. The subject of the study is an extension of the existing statement of the problem [2] to the solution of contact problems taking into account gaps. A series of problem calculations and a comparison of the solutions obtained with the ANSYS software package were carried out, some of which are given in the article. The advantages and disadvantages of the proposed approach are analyzed.

**Key words:** constructive nonlinearity, frictional contact, unilateral constrains, linear complementarity problem, gap, numerical models, finite element method.

[Динамические расчеты](#)

[Dynamic calculation](#)

УДК 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.44.49

**И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. РУТ МИИТ, г. Москва; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru**

**МЕТОД РАСЧЕТА БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИНЕРЦИОННОЙ НАГРУЗКИ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ЕЕ ДВИЖЕНИЯ. Часть 1.**

**Действие на балку простейшей силовой и инерционной нагрузки...44**

Предлагается метод расчета стержней на упругом основании при действии инерционной нагрузки и ее движении с переменной скоростью. Рассмотрены тестовые задачи о движении силы или груза с переменными скоростями по шарнирно опертой балке на упругом основании. Для построения методики используются предложенные ранее автором статьи: шаговая процедура для решения задач неустановившейся динамики сооружений и метод «узловых ускорений» для учета действия на сооружения подвижной инерционной нагрузки.

**Ключевые слова:** переменная скорость, шаговые процедуры, стержни на упругом основании, железнодорожный путь.

UDC 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.44.49. **CALCULATION METHOD FOR A BEAM ON ELASTIC BASE UNDER THE ACTION OF INERTIAL LOAD WITH VARIABLE SPEED OF ITS MOVEMENT. Part 1. The action of the simplest force and inertial load on the beam.** I.I. Ivanchenko, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru

**Abstract.** The method for calculating rods on an elastic base under the action of an inertial load and its movement with variable speed is proposed. Test problems on the movement of a force or a load with variable speeds along a pivotally supported beam on an elastic base are considered. To construct the methodology, the following methods are used, proposed earlier by the author of the article: the step-by-step procedure for solving problems of unsteady dynamics of structures and the method of “nodal accelerations” to account for the action of a mobile inertial load on structures.

**Key words:** variable speed, step procedures, rods on an elastic base, railway track.

УДК 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.49.54

**И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. РУТ МИИТ, г. Москва; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru**

**МЕТОД РАСЧЕТА БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИНЕРЦИОННОЙ НАГРУЗКИ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ЕЕ ДВИЖЕНИЯ. Часть 2.**

**Действие на стержни, моделирующие протяженный рельсовый путь, железнодорожной нагрузки...49**

Предлагается метод расчета стержней на упругом основании при действии инерционной железнодорожной нагрузки при ее движении с переменной скоростью.

Рассматривается задача о взаимодействии протяженной балки на упругом основании и экипажа в условиях смены его равномерного движения на равнопеременное, моделирующее процесс торможения вагона, что позволяет оценивать процесс обезжуривания колесной пары вагона в аварийной ситуации. Для построения методики используются предложенные ранее автором статьи: шаговая процедура для решения задач неустановившейся динамики сооружений и метод «узловых ускорений» для учета действия на рельсовый путь подвижной инерционной железнодорожной нагрузки.

**Ключевые слова:** переменная скорость, шаговые процедуры, стержни на упругом основании, вагон скоростного состава, железнодорожный путь.

UDC 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.49.54. **CALCULATION METHOD FOR A BEAM ON ELASTIC BASE UNDER THE ACTION OF INERTIAL LOAD WITH VARIABLE SPEED OF ITS MOVEMENT. Part 2. Action on rods that simulate an extended rail track under railway loads.** I.I. IVANCHENKO, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru

**Abstract.** The article proposes the method for calculating rods on an elastic base under the action of an inertial railway load when it moves at variable speed. The problem of the interaction of the extended beam on the elastic base and the carriage in the conditions of changing its uniform motion to an equally variable one simulating the process of wagon braking is considered. It allows to evaluate the process of unloading the wagon wheel-set in an emergency situation. To construct the methodology the following methods proposed earlier by the author of the article are used: the step-by-step procedure for solving problems of unsteady dynamics of structures and the method of “nodal accelerations” for taking into account the action of a mobile inertial railway load on the rail track.

**Key words:** variable speed, step procedures, rods on elastic base, high-speed train car, a railway track.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.072.2(043) DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.55.64

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доц. Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске; e-mail: al\_marut@mail.ru

### ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСОЛЬНО-БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ...55

Приведено новое техническое решение консольно-балочных конструкций из плоскоовальных и прямоугольных профильных труб (гнуто сварных профилей), отличающихся регулярно-переменной высотой при постоянной ширине поперечного сечения. В одном варианте сечение балки на консоли имеет форму круглого кольца и в заделке – плоскоовальную форму высотой, равной 3,064 диаметра кольца, а в другом варианте сечение балки на консоли имеет форму квадрата и в заделке – форму прямоугольника высотой, равной 3,0 размера квадрата. При помощи приближенной методики расчета тонкостенных сечений по их средним (срединным) линиям, неоднократно апробированной в варианном и оптимальном проектировании несущих конструкций, оптимизированы основные параметры консольных балок с кругло-плоскоовальными и квадратно-прямоугольными сечениями, оказывающих силовое сопротивление распределенной и сосредоточенной нагрузке. Представлен сравнительный расчет конструктивных коэффициентов и коэффициентов использования консольно-балочных элементов на примере их реализации из одной и той же листовой заготовки. Выявлен рост несущей способности с переходом от прямоугольной формы сечения к плоскоовальной, оборотной стороной которого является увеличение габаритов по высоте и ширине того же сечения. Подтверждена достаточная корректность приближенной методики расчета для ее использования на разных стадиях проектирования несущих конструкций.

**Ключевые слова:** расчет оптимальных параметров, регулярно-переменные сечения, профильные трубы, гнуто сварные профили, балочные системы, консольные балки.  
UDC 624.072.2(043) DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.55.64. OPTIMIZATION OF CANTILEVER-BEAM STRUCTURES MADE OF PROFILE PIPES. A.S. Marutyanyan, Branch of the North Caucasus Federal University, Pyatigorsk; e-mail: al\_marut@mail.ru.

**Abstract.** A new technical solution is given for cantilever-beam structures made of flat oval and rectangular profile pipes (bent-welded profiles), which differ in regularly variable height with the constant cross-section width. In one variant, the cross-section of the beam on the console has the shape of a round ring and in the embedding has a flat oval shape with a height equal to 3.064 of the ring diameter. In another variant, the cross-section of the beam on the console has the shape of a square and in the embedding has the shape of a rectangle with a height equal to 3.0 of the square size. The article describes basic parameters of cantilever beams with circular-flat-oval and square-rectangular cross-sections that provide force resistance to distributed and concentrated loads. These parameters were optimized using an approximate method for calculating thin-walled sections along their median lines and were tested in the variant and optimal design of load-bearing structures. A comparative calculation of the design coefficients and the coefficients of the use of cantilever-beam elements is presented by the example of their implementation from the same slab. The sufficient correctness of the approximate calculation method for its use at different stages of the design of load-bearing structures is confirmed.

**Key words:** calculation of optimal parameters, regularly variable cross-sections, profile pipes, bentwelded profiles, beam systems, cantilever beams.

УДК 692.48: 69.05 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.64.73

А.А. ПОГОРЕЛЬЦЕВ, к.т.н., С.Б. ТУРКОВСКИЙ, к.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИИ «Строительство»; e-mail: pogara@yandex.ru

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЫКОВ РАСТЯНУТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА V-ОБРАЗНЫХ АНКЕРАХ...64

Приведен анализ проблемы стыков растянутых элементов клееных деревянных конструкциях, являющихся ответственными узлами. Стыки системы ЦНИИСК широко используются для сборных конструкций большого пролета. Они обеспечивают равнопрочность с основным сечением, не чувствительны к трещинам, надежны и эффективны. Рассмотрены результаты натурных испытаний стыка нижнего пояса фермы пролетом 56 м. Подтверждена достаточная прочность стыка, выявлены возможности улучшения конструкции. Результаты учтены в растянутых стыках ферм аквапарка «Мореон». Приведены натурные испытания стыка для уточнения расчетных положений и контроля качества изготовления. Нагрузка прикладывалась до 1750 кН ступенями по 200 кН с разгрузкой. Измерялись деформации анкеров и древесины тензодатчиками. Получены зависимости напряжений от нагрузки и характер распределения их в соединениях. Выполнены численные исследования испытанного узла. Экспериментально доказана эффективность стыков системы ЦНИИСК.

**Ключевые слова:** растянутый стык, анкерные пластины, V-образные вклеенные анкеры, упругая работа, нормальные напряжения вдоль волокон.

UDC 692.48: 69.05 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.4.64.73. EXPERIMENTAL STUDIES OF TIMBER STRUCTURES' STRETCHED JOINTS ON V-

SHAPED ANCHORS. A.A. Pogoreltsev, S.B. Turkovskii, JSC «Research center «Construction» (Kucherenko TSNIISK), Moscow, Russia; e-mail: pogara@yandex.ru

**Abstract.** The analysis of the problem of joints of stretched elements of glued wooden structures, which are critical nodes, is given. The joints of the TsNIISK system are widely used for prefabricated structures of a large span. They provide equal strength with the main section, are not sensitive to cracks, are reliable and efficient. The results of full-scale tests of the joint of the lower chord of the truss with a span of 56 m are given in this article. Also in this article sufficient joint strength is confirmed and the possibilities for improving the structure are revealed. The results are taken into account in the stretched joints of the farms of the Moreon water park. Full-scale tests of the joint are presented to clarify the design positions and control the quality of manufacture. The load was applied up to 1750 kN in 200 kN steps with unloading. Deformations of anchors and wood were measured using strain gauges. The dependences of stresses on the load and the nature of their distribution in the joints are obtained. Numerical studies of the tested unit are carried out. The efficiency of the joints of the TsNIISK system has been experimentally proved.

**Key words:** tensile joint, anchor plates, V-shaped glued in anchors, elastic work, normal stresses along the fibers.

№ 5 за 2021 год

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 692.44.47 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.2.7

Н.С. НОВОЖИЛОВА<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, В.В. ОСТЯНКО<sup>2</sup>, магистр, инженер-конструктор III категории <sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, <sup>2</sup>ООО «СМ-Проект»; e-mail: nsn01@list.ru

### УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТИВ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТНО-АРЧНЫХ СИСТЕМ ПОКРЫТИЯ В СРАВНЕНИИ С ОБЫЧНЫМИ АРЧНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ПРИ РАСЧЕТЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ...2

Конструкция перекрестных арочных систем покрытия была рассмотрена на основании доказанной эффективности применения перекрестных балочных систем-кессонных перекрытий. Применение перекрестных арочных систем покрытия позволяет создать пространственную конструкцию, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными арочными покрытиями при работе на больших пролетах при действии равномерно и неравномерно распределенных нагрузок, а также сосредоточенных нагрузок (симметричных и несимметричных). При этом в работу включаются арки обоих направлений, что приводит к уменьшению поперечных сечений и, соответственно, к экономии строительных материалов. Одним из важнейших преимуществ перекрестных арочных систем покрытия по сравнению с обычными арочными покрытиями является повышенная устойчивость против прогрессирующего обрушения. Квазистатическим методом в линейной постановке были проведены исследования работы обычных арочных и перекрестных арочных систем покрытий на квадратных планах с размерами 30,0 м, 45,0 м и 60,0 м с различными подъемами стрелы арки  $f = 1/4L$ ,  $f = 1/6L$ ,  $f = 1/8L$ . В результате выявлено снижение продольных сжимающих усилий: при локальных отказах угловых колонн для перекрестных систем в среднем 2,0–2,5 раза; при локальных отказах торцевых колонн в пределах 1,5–2,3 раза.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции; арочные покрытия; пространственные конструкции; перекрестные арочные системы; прогрессирующее обрушение;

устойчивость против прогрессирующего обрушения; напряженно-деформированное состояние; квазистатический метод.

UDC 692.44.47 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.2.7. RESISTANCE TO THE PROGRESSIVE COLLAPSE OF CROSS-ARCHED COATING SYSTEMS IN COMPARISON WITH CONVENTIONAL ARCHED COATINGS WHEN CALCULATING THE QUASISTATIC METHOD. N.S. Novozhilova<sup>1</sup>, V.V. Ostyanko<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Saint-Petersburg state university of architecture and civil engineering, <sup>2</sup>ООО «СМ-Проект»; e-mail: nsn01@list.ru

**Abstract.** The design of cross-arched coating systems was considered on the basis of the proven effectiveness of the use of cross-beam system-caisson overlaps. The use of cross-arched coating systems allows you to create a spatial structure, which has a number of advantages compared to conventional arched coatings when working on large spans under action is uniformly and unevenly distributed loads, as well as focused loads (symmetrical and asymmetric). At the same time, the arches of both directions are included in the work, which leads to a decrease in transverse sections and, accordingly, to saving building materials. One of the most important advantages of cross-arched coating systems compared to conventional arched coatings is increased stability against progressive collapse. The quasistatic method in the linear formulation was conducted studies of the operation of conventional arched and cross-arched coating systems on square plans with dimensions of 30.0 m, 45.0 m and 60.0 m with different arrow lifts Arch  $F = 1/4L$ ,  $F = 1/6L$ ,  $F = 1/8L$ . As a result, a decrease in longitudinal compressive efforts was revealed: in with local failures of the angular columns for cross-systems, an average of 2.0-2.5 times; With local failures of the end columns in the range of 1.5-2.3 times.

**Key words:** reinforced concrete structures; arched coatings; spatial structures; Cross arched systems; progressive collapse; stability against progressive collapse; stress-strain state;

Quasistatic method.

[Численные расчеты](#)

[Numerical calculations](#)

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.8.12

С.В. БОСАКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., проф., Н.С. ШЕГЬКО<sup>2</sup>, инж. <sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск, Республика Беларусь, <sup>2</sup>Главный конструктор ООО «Могилевский центр строительной диагностики», г. Могилев, Республика Беларусь; e-mail: Sevibo@yahoo.com

### НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОРТОТРОПНЫХ ПЛИТ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОПОРНЫХ ЗАКРЕПЛЕНИЯХ...8

В работе рассматриваются нелинейные свободные и вынужденные изгибные колебания прямоугольных ортотропных пластинок с одной степенью свободы с различными опорными закреплениями. Для определения вертикальной жесткости пластинки в месте нахождения колеблющейся массы используется теорема Гольденבלата о производной потенциальной энергии деформаций нелинейно упругой пластинки по перемещению. Цилиндрические жесткости ортотропной пластинки в двух перпендикулярных направлениях находятся по зависимости «жесткость–кривизна» для железобетонных пластинок. Приводятся решения шарнирно опертой по четырем сторонам, шарнирно опертой по двум и защемленной по двум остальным сторонам, шарнирно опертой в четырех угловых точках прямоугольных ортотропных пластинок. Показано, что использование косинус-биномов Филоненко-Бородича позволяет решать подобные задачи для пластинок с другими опорными закреплениями.

**Ключевые слова:** прямоугольная ортотропная пластинка, изгибные нелинейные колебания, энергия деформаций изгиба, косинус-биномы Филоненко-Бородича.



UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.8.12. **NONLINEAR OSCILLATIONS OF RECTANGULAR ORTHOTROPIC PLATES WITH ONE DEGREE OF FREEDOM AT DIFFERENT SUPPORT ANCHORS.** S.V. Bosakov<sup>1</sup>, N.S. Shchetko<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Belarusian National Technical University, RUE "BelNIIS Institute", Minsk, Republic of Belarus, <sup>2</sup>Chief Designer of LLC "Mogilev Center for Construction Diagnostics", Mogilev, Republic of Belarus; e-mail: Sevibo@yahoo.com

**Abstract.** The paper considers free and forced bending vibrations of rectangular orthotropic plates with one degree of freedom with different support anchors. To determine the vertical stiffness of the plate at the location of the oscillating mass, the Goldenblatt theorem on the derivative of the potential energy of deformations of a nonlinearly elastic plate with respect to displacement is used. The cylindrical stiffness of an orthotropic plate in two perpendicular directions is determined by the "stiffness-curvature" relationship for reinforced concrete plates. Solutions are given for pivotally supported on four sides, pivotally supported on two and pinched on the other two sides, pivotally supported at four corner points of rectangular orthotropic plates. It is shown that the use of Filonenko-Borodich cosine binomials makes it possible to solve similar problems for plates with other support anchors.

**Key words:** rectangular orthotropic plate, bending nonlinear vibrations, bending strain energy, Filonenko-Borodich cosine binomials.

УДК 624.04+624.07+517.972.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.13.19

**А.В. ЕРМАКОВА, к.т.н., доцент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск; e-mail: annaolga11@gmail.com**  
**МАТРИЦЫ ЖЕСТКОСТИ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ В МДКЭ...13**

В статье рассматриваются матрицы жесткости основной и дополнительных расчетных схем, применяемые при проведении нелинейного расчета по прочности методом дополнительных конечных элементов (МДКЭ). Основная начальная матрица жесткости расчетной схемы конструкции меняется под влиянием каждого из ее нелинейных свойств. Для численного моделирования этой операции МДКЭ использует матрицы жесткости дополнительных расчетных схем. Математические характеристики элементов этих матриц отвечают требованиям расчета систем с несколькими нелинейными свойствами, поскольку все эти свойства полностью проявляются при работе конструкции в области, близкой к предельному состоянию.

**Ключевые слова:** метод дополнительных конечных элементов, метод конечных элементов, дополнительная расчетная схема, матрица жесткости дополнительной расчетной схемы.

UDC 624.04+624.07+517.972.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.13.19. **STIFFNESS METRICES OF MAIN AND ADDITIONAL DESIGN DIAGRAMS IN AFEM.** A.V. Ermakova, South Ural state University (NRU), Chelyabinsk; e-mail: annaolga11@gmail.com.

**Abstract.** The paper considers the stiffness matrices of main and additional design diagrams when Additional Finite Element Method (AFEM) is applied to nonlinear strength analysis. Main initial stiffness matrix of structure design diagram changes due to every nonlinear property. AFEM uses stiffness matrices of additional design diagram for numerical modeling of this procedure. Mathematical characteristics of these matrix elements correspond to requirements of analysis for systems with several nonlinear properties due to all these properties are appeared for behavior of structure at close to limit state range.

**Key words:** additional finite element method, finite element method, additional design diagram, stiffness matrix of additional design diagram.

УДК 691.421:666.72:691:620. DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.20.25

**В.И. ОБОЗОВ, д.т.н., проф. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»»), г. Москва; e-mail: obozov@yandex.ru**  
**К ОБЪЯСНЕНИЮ ЭФФЕКТА БАУШИНГЕРА В СЛУЧАЯХ МЕСТНОЙ НАГРУЗКИ НА СТЕНЫ...20**

Исследовано напряженно-деформированное состояние фрагментов стен с использованием трехмерных конечно-элементных моделей при местных нагрузках. Исследованы случаи сосредоточенных и распределенных на локальных участках нагрузок. Рассмотрены стены с кладкой из полнотелого кирпича, а также из пустотелых керамических камней с большим процентом пустотности. На основе анализа вариантов расчетов, отличающихся расположением местной нагрузки, установлено, что эффект Баушингера состоит не в упрочнении кладки при приложении местной нагрузки, а в перераспределении напряжений между нагруженным участком и остальной частью конструкции, благодаря чему напряжения непосредственно под нагружаемым участком снижаются по сравнению с напряжениями при приложении такой же нагрузки, но по всей площади конструкции. Дана оценка рекомендациям по расчету кладки на местные нагрузки в действующих нормах, а также рекомендации по расчету на местные нагрузки стен с использованием трехмерных конечно-элементных моделей.

**Ключевые слова:** эффект Баушингера, стена, кирпич, крупноформатный керамический пустотелый камень, трехмерная конечно-элементная модель, местная нагрузка, расчет, напряженно-деформированное состояние.

UDC 691.421:666.72:691:620. DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.20.25. **TO EXPLAIN THE BAUSCHINGER EFFECT IN CASES OF LOCAL LOAD ON WALLS.** V.I. Obozov, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: obozov@yandex.ru

**Abstract.** The stress-strain state of wall fragments is investigated using three-dimensional finite element models under local loads. The cases of concentrated and distributed loads in local areas are investigated. The walls with a full-bodied brick masonry, as well as hollow ceramic stones with a large percentage of voidness, are considered. Based on the analysis of variant calculations differing in the location of the local load, it was found that the Bauschinger effect does not consist in strengthening the masonry when applying a local load, but in redistributing stresses between the loaded section and the rest of the structure, so that the stresses directly under the loaded section are reduced compared to stresses when applying the same load but over the entire area of the structure. The recommendations for calculating masonry for local loads in the current norms are evaluated, as well as recommendations for calculating local loads of walls using three-dimensional finite element models.

**Key words:** Bauschinger effect, wall, brick, large-format ceramic hollow stone, three-dimensional finite element model, local load, calculation, stress-strain state.

[Нелинейные расчеты](#)

[Nonlinear calculations](#)

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.25.34

**С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru**

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ИДЕАЛЬНО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОСИММЕТРИЧНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ АППРОКСИМАЦИИ ДИАГРАММ ОБЪЕМНОГО И СДВИГОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ БИКВАДРАТИЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ...25**

Рассматриваются вопросы построения дифференциальных уравнений равновесия геометрически и физически нелинейной идеально упругопластической сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования, при аппроксимации диаграмм объемного и сдвигового деформирования биквадратичными функциями. Построение физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. При аппроксимации графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования при помощи двух отрезков парабол секущий модуль сдвига на первом участке является линейной функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объемного расширения-сжатия является линейной функцией первого инварианта тензора деформаций. На втором участке диаграмм и объемного, и сдвигового деформирования секущий модуль сдвига является дробной (рациональной) функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объемного расширения-сжатия является дробной (рациональной) функцией первого инварианта тензора деформации. Исходя из предположения о независимости, вообще говоря, друг от друга диаграмм объемного и сдвигового деформирования, рассмотрены пять основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования. На основе полученных физических уравнений выводятся дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для идеально упругопластической сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования. Построенные в статье дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут найти применение при определении напряженного и деформированного состояния идеально упругопластической сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования, замыкающие уравнения физических соотношений для которых, построенные на основе экспериментальных данных, аппроксимированы биквадратичными функциями.

**Ключевые слова:** сплошная среда, центрально-симметричная деформация, аппроксимация, квадратичные функции, дифференциальные уравнения равновесия, геометрическая линейность, геометрическая нелинейность.

UDC 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.25.34. **DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EQUILIBRIUM OF IDEALLY ELASTOPLASTIC CONTINUOUS MEDIUM FOR CENTRALLY SYMMETRIC DEFORMATION WHEN THE DIAGRAMS OF VOLUMETRIC AND SHEAR DEFORMATION ARE APPROXIMATED BY BIQUADRATIC FUNCTION.** S.V. Bakushev, The Penza state university of architecture and construction; e-mail: bakuchsv@mail.ru

**Abstract.** The present article considers construction of differential equations of equilibrium of geometrically and physically nonlinear ideally elastoplastic continuous medium under conditions of centrally symmetric deformation, when the diagrams of volumetric and shear deformation are approximated by biquadratic functions. The construction of physical dependencies is based on calculating the secant moduli of volumetric and shear deformation. When approximating the graphs of the volumetric and shear deformation diagrams using two segments of parabolas, the secant shear modulus in the first segment is a linear function of the intensity of shear deformations; the secant modulus of volumetric expansion-contraction is a linear function of the first invariant of the strain tensor. In the second section of the diagrams of both volumetric and shear deformation, the secant shear modulus is a fractional (rational) function of the shear strain intensity; the secant modulus of volumetric expansion-compression is a fractional (rational) function of the first invariant of the strain tensor. Based on the assumption of independence, generally speaking, from each other of the volumetric and shear deformation diagrams, five main cases of physical dependences are considered, depending on the relative position of the break points of the graphs of the diagrams volumetric and shear deformation. On the basis of obtained physical equations, differential equations of equilibrium in displacements are derived for an ideally elastoplastic continuous medium under conditions of centrally symmetric deformation. The differential equations of equilibrium in displacements constructed in the present article can be applied in determining the stress and strain state of ideally elastoplastic continuous medium under conditions of centrally symmetric deformation, the closing equations of physical relations for which, based on experimental data, are approximated by biquadratic functions.

**Key words:** continuous medium, centrally symmetric deformation, approximation's, quadratic functions, differential equations of equilibrium in displacements, geometric linearity, geometric nonlinearity.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.35.40

**И.И. ВЕДЯКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., проф., М.И. ФАРФЕЛЬ<sup>1,2</sup>, к.т.н., М.И. ГУКОВА<sup>1</sup>, к.т.н. <sup>1</sup>ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»»), г. Москва, <sup>2</sup>НИУ МГСУ, г. Москва; e-mail: vedykov@gmail.com**

**О ДОПОЛНЕНИИ В СП 16.13330.2017 ТРЕБОВАНИЙ ПО УСТАНОВКЕ СВЯЗЕЙ...35**

В помощь проектировщикам приведены и обоснованы вносимые Изменения в СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». В состав Изменений входят 11 разделов и Приложения В и Г. Наиболее значимыми являются изменения, вносимые в раздел 15 к требованиям по проектированию конструкций зданий и сооружений, включающие требования к элементам каркасов зданий, таких как фермы, балки и рамные конструкции, а также к установке связей в различных зданиях. Здесь отражены вопросы специалистов в области расчета и проектирования стальных конструкций, поступающие к разработчикам норм, которые должны вносить нормативные требования, соответствующие современной практике проектирования и строительства. Так, в Приложения по материалам строительных конструкций внесены уточнения в части использования новых сталей. В статье приведены новые требования по проектированию связей, устанавливаемые на основании поступающих вопросов и предложений проектировщиков, сталкивающихся с трудностями и неоднозначностью решения таких задач в своей практической работе.

**Ключевые слова:** стальные, строительные конструкции, несущая способность, жесткость, каркасы, производственные здания, фермы, тяжи, связи.

UDC 624.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.35.40. **ABOUT THE ADDITION TO THE JOINT VENTURE 16.13330.2017 OF THE REQUIREMENTS FOR ESTABLISHING LINKS.** I.I. Vedyakov<sup>1</sup>, M.I. Farfel<sup>1,2</sup>, M.I. Gukova<sup>1</sup>, <sup>1</sup>TSNIISK named after V.A.Kucherenko, JSC "NITS "Stroitelstvo" Research Center of Construction, Moscow, <sup>2</sup>NRU MGSU, Moscow; e-mail: vedykov@gmail.com.

**Abstract.** To help the designers, the Amendments to the Joint Venture 16.13330.2017 "Steel Structures" introduced are presented and justified. Amendments include 11 sections and Appendices B and G. The most significant are the changes made to section 15 to the requirements for the design of structures of buildings and structures, including requirements for elements of building frames such as trusses, beams and frame structures, as well as for the installation of connections in various buildings. It reflects the questions of specialists in the field of calculation and design of steel structures that come to the developers of standards, who must make regulatory requirements that correspond to modern design and construction practice. So, in the Appendices on the materials of building structures, clarifications have been made regarding the use of new steels. The article presents new requirements for the design of ties, established on the basis of received questions and suggestions of designers, who face difficulties and ambiguity in solving such problems in their practical work.

**Key words:** steel, building structures, load-bearing capacity, rigidity, frames, industrial buildings, trusses, strands, ties.

УДК 693.22 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.41.46

**В.Н. ДЕРКАЧ, д.т.н. Филиал РУП «Институт БелНИИС» – «Научно-технический центр», г. Брест, Республика Беларусь; e-mail: v-derkach@yandex.ru**  
**АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТЕН КАРКАСНО-КАМЕННЫХ ЗДАНИЙ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ВОЗВЕДЕНИЕМ КАМЕННОГО ЗАПОЛНЕНИЯ...41**

Приведены требования Еврокода 6 к проектированию конструктивных систем каркасных зданий с опережающим возведением каменного заполнения. Показаны преимущества рассмотренной конструктивной системы по сравнению с конструктивной системой зданий, в которых каменное заполнение выполняется после возведения каркаса. Выполнен анализ методики расчета сопротивления сжатию, сдвигу и изгибу каменных стен с железобетонным обрамлением и даны предложения по ее совершенствованию.

**Ключевые слова:** каркасно-каменные здания, каменное заполнение, железобетонное обрамление, сопротивление, сжатие, сдвиг, изгиб.

UDC 693.22 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.41.46. **DESIGN FEATURES OF THE WALLS IN FRAME-MASONRY BUILDINGS WITH ADVANCED BUILDING OF MASONRY FILLING.** V.N. Derkach, Filial RUE "Institut Belniis" – "Juln-Technical Center", Brest, Republic of Belarus; e-mail: v-derkach@yandex.ru

**Abstract.** The requirements of Eurocode 6 for the design of structural systems of frame buildings with advanced building of masonry filling have been presented. The advantages of the considered structural system are shown in comparison with the structural system of buildings in which masonry filling is performed after the building of the frame. The analysis of the methodology for calculating the compression, shear and bending strength of masonry walls with reinforced concrete framing have been presented and proposals for its improvement are given.

**Key words:** frame-masonry buildings, masonry filling, reinforced concrete framing, strength, compression, shear, bending.

[Экспериментальные исследования](#)

[Experimental studies](#)

УДК 69.001.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.47.53

**М.А. МУХИН<sup>1</sup>, инж., А.С. ВЕТКОВ<sup>1</sup>, инж., С.И. СМИРНОВ<sup>2</sup>, инж., <sup>1</sup>ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство») <sup>2</sup>ООО «Винербергер Кирпич» г. Москва; e-mail: mukhin@myrambler.ru**

**ОЦЕНОЧНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КЛАДКИ ИЗ КАМНЕЙ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ПУСТОТАМИ «FORATI»...47**

Проведены оценочные испытания по определению прочностных и деформационных показателей кладки из камней с горизонтальными пустотами «Forati», производства ООО «Винербергер Кирпич». В ходе подготовки к испытаниям и испытаний для определения прочностных и деформационных показателей прочности камней с горизонтальными пустотами «Forati» использовались стандартизированные методы. Испытания крупных кладочных образцов проведены в соответствии с методикой, установленной ГОСТ 32047-2012. На основе полученных данных в ходе работы были подготовлены рекомендации для возведения в опытно-экспериментальном порядке стеновых конструкций из камней «Forati» при строительстве зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** кладка, испытания, керамическое кладочное изделие, камень с горизонтальными пустотами, шлифованное изделие, прочность.

UDC 69.001.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.47.53. **EVALUATION STUDY OF THE STRENGTH OF STONE MASONRY WITH HORIZONTAL VOIDS "FORATI".** M.A. Muhin 1, A.S. Vetkov 1, S.I. Smirnov 2, 1 CNIISK im. V.A. Kucherenko JSC "Research Center" Construction, Moscow, 2 LLC "Wienerberger Brick", Moscow; e-mail: mukhin@myrambler.ru

**Abstract.** Evaluation tests were carried out to determine the strength and deformation parameters of stone masonry with horizontal voids "Forati", produced by LLC "Venerberger Kirpich". In preparation for testing and testing, standardized methods were used to determine the strength and deformation indicators of the strength of stones with horizontal voids "Forati". Testing of large masonry samples was carried out in accordance with the methodology established by GOST 32047-2012. On the basis of the data obtained in the course of the work, recommendations were prepared for the construction of wall structures made of Forati stones in an experimental and experimental manner during the construction of buildings and structures.

**Key words:** masonry, testing, ceramic masonry product, stone with horizontal voids, polished product, strength.

УДК 692.232.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.54.63

**М.О. ПАВЛОВА, к.т.н., В.А. ЗАХАРОВ, инж., С.В. КУШНИР, инж., М.Н. ПАВЛЕНКО, инж. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО«НИЦ«Строительство»); e-mail: 1747302@mail.ru**  
**НАДЕЖНОСТЬ КРУПНОРАЗМЕРНЫХ ФАСАДНЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ СТЕКЛОФИБРОБЕТОНА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ...54**

Проведены лабораторные испытания устройства фасадов зданий с применением крупноразмерных облицовочных элементов, в частности из стеклофибробетона. Новые фасадные конструкции и технические решения требуют комплексного подхода при проведении расчетно-теоретического и экспериментального обоснования. По результатам испытаний специалистами определены перемещения (деформации) при прогибах стеклофибробетонных панелей под действием прикладываемой нагрузки, а также установлены нагрузки трещинообразования облицовочных элементов, что может быть выполнено только экспериментальным способом. Проведение испытаний позволяет определить критерии и условия надежности и безопасной эксплуатации фасадных конструкций.

**Ключевые слова:** фасад здания, крупноразмерная облицовка, стеклофибробетонные панели, ограждающие конструкции, фасадные конструкции, испытания фасадов, эксплуатационная надежность.

UDC 692.232.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.54.63. **RELIABILITY OF LARGE-SIZED FACADE FACADE PANELS DURING OPERATION.** M.O. Pavlova, V.A. Zakharov, S.V. Kushnir, M.N. Pavlenko, TSNIISK named after V.A. Kucherenko, JSC "NITS "Stroitelstvo" Research Center of Construction, Moscow; e-mail: 1747302@mail.ru.

**Abstract.** Laboratory tests of building facades with the use of large-size facing elements, in particular, made of glass-fiber-reinforced concrete, have been carried out. New facade structures and technical solutions require an integrated approach when carrying out theoretical and experimental justification. According to the test results, the specialists determined the displacements (deformations) during deflections of glass-fiber-reinforced concrete panels under the action of the applied load, and also established the cracking loads of the facing elements, which can only be performed experimentally. Testing allows you to determine the criteria and conditions for the reliability and safe operation of facade structures.

**Key words:** building facade, large-size cladding, fiberglass concrete panels, enclosing structures, facade structures, facade testing, operational reliability.

[В порядке обсуждения](#)

[In order to discuss](#)

УДК 620.172.242.001.57 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.64.73

**Х.К. СЕЙФУЛЛАЕВ, д.т.н., проф. Азербайджанский НИИ Строительства и Архитектуры; e-mail: xanlar.seyfullayev@mail.ru**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ...64**

Разработана новая методика расчета железобетонных элементов, которая основана на точном и строгом приложении нелинейной деформационной модели механики деформированных твердых тел к задаче упруго-пластического изгиба теории железобетона, на основании которой осуществляется проектирование железобетонных конструкций. Суть методики заключается в том, что в условиях прочности железобетонных элементов, выраженных через предельные деформации бетона сжатой зоны  $\epsilon_{ult}$  и растянутой арматуры  $\epsilon_{ult}$ , на основании новых понятий о предельных состояниях были выведены новые условия относительно высоты сжатой зоны бетона изгибаемых элементов. Методика расчета полностью отвечает правилам, принципам и требованиям Еврокода-2. Согласно предложенной методике учтены основные характеристики материалов: ползучесть, длительная прочность бетона, нарастание прочности арматуры после предела текучести. Результаты численных примеров показывают, что учет основных деформационных характеристик бетона и арматуры приводит к изменению результатов по обычной методике порядка 15-20%.

**Ключевые слова:** нелинейная деформационная модель, ползучесть бетона, длительная прочность бетона, нарастание прочности арматуры, условия прочности, Еврокод-2.

UDC 620.172.242.001.57 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.5.64.73. **THE METHOD FOR CALCULATING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS BASED ON A NONLINEAR DEFORMATION MODEL OF MECHANICS OF DEFORMABLE SOLIDS.** H.K. Seifullayev, Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture; e-mail: xanlar.seyfullayev@mail.ru

**Abstract.** A new method for calculating reinforced concrete elements has been developed. It is based on the precise and strict application of the nonlinear deformation model of mechanics of deformed solids to the problems of elastic-plastic bending of the theory of reinforced concrete. The design of reinforced concrete structures is carried out based on it. The conditions of strength of reinforced concrete elements expressed in terms of the ultimate deformations of concrete of the compressed zone and stretched reinforcement are transformed to the new conditions derived on the basis of new concepts about the limiting states with respect to the height of the compressed zone of concrete of the bent elements. The calculation method fully complies with the rules, principles and requirements of Eurocode-2. According to the proposed methodology, the main characteristics of materials are taken into account: creep, long-term strength of concrete, the increase in the strength of reinforcement after the yield point. The results

of numerical examples show that taking into account the main deformation characteristics of concrete and reinforcement leads to a change in the results by usual method of about 15-20%.

**Key words:** nonlinear deformation model, concrete creep, long-term concrete strength, reinforcement strength increase, strength conditions, Eurocode-2.

Памяти ученого .....74

Memories of the scientist .....74

С.В. БОСАКОВ, д.т.н., проф. Белорусский национальный технический университет, РУП «Институт БелНИИС», г.Минск, Республика Беларусь; e-mail: Sevibo@yahoo.com  
**СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНОГО МЕТОДА И СПОСОБА Б.Н. ЖЕМОЧКИНА ПРИ РЕШЕНИИ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УПРУГИХ ОСНОВАНИЙ СЛОЖНОГО ОЧЕРТЕНИЯ...2**

Предлагаемый автором подход для расчета конструкций на упругом основании сложного очертания основывается на комбинированном и поэтапном применении вариационно-разностного метода и способа Б.Н. Жемочкина. Вариационно-разностный метод используется для определения перемещений поверхности контакта конструкции с упругим основанием. Способ Б.Н. Жемочкина – для нахождения распределения контактных напряжений между конструкцией и основанием. Этим устраняется необходимость построения безразмерной функции для определения перемещений поверхности упругого основания от действия единичной силы, равномерно распределенной по участку Б.Н. Жемочкина, что в случае упругого основания сложного очертания иногда представляет непростую и зачастую нерешенную задачу. В предлагаемой работе успешно применены нерегулярная разностная прямоугольная сетка и треугольные ячейки. Приводится пример расчета жесткой фундаментной плиты на дне котлована на действие статически приложенной сосредоточенной силы, вызывающей ее поступательное перемещение. Графически выполнено сопоставление полученной эпюры контактных напряжений с точным решением распределения контактных напряжений для штампа на упругой полуплоскости и упругом слое.

**Ключевые слова:** контактная задача, вариационно-разностный метод, способ Б.Н. Жемочкина.

UDC 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.2.6. **COMBINED APPLICATION OF THE VARIATIONAL-DIFFERENCE METHOD AND THE METHOD OF B.N. ZHEMOKHIN IN SOLVING CONTACT PROBLEMS FOR ELASTIC FOUNDATIONS OF COMPLEX SHAPE.** S.V. Bosakov, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus; e-mail: Sevibo@yahoo.com

**Abstract.** The approach proposed by the author for calculating structures on an elastic foundation of a complex shape is based on the combined application of the variational-difference method and the method of B.N. Zhemochkin. The variational-difference method is used to determine the displacements of the contact surface of a structure with an elastic foundation. Method B.N. Zhemochkin – to find the distribution of contact stresses between the structure and the base. This eliminates the need to construct a dimensionless function to determine the displacements of the surface of the elastic foundation from the action of a unit force uniformly distributed over the section B.N. Zhemochkin, which in the case of an elastic foundation of a complex shape is sometimes a difficult and unsolved problem. In the presented work, an irregular finite difference rectangular mesh and triangular cells are also successfully applied. An example of calculating a rigid foundation slab at the bottom of a pit for the action of a statically applied concentrated force causing its translational movement is given. The obtained diagram of contact stresses is graphically compared with the exact solution of the distribution of contact stresses for a stamp on an elastic half-plane.

**Key words:** contact problem, variational-difference method, B.N. Zhemochkina.

УДК 624.012.45 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.7.12

О.И. ЕФИМОВ<sup>1</sup> доц., к.т.н., Ф.С. ЗАМАЛШЕВ<sup>1</sup> доц., к.т.н., Н.Н. ЛАСЬКОВ<sup>2</sup> д.т.н., проф., АЛЬ-ХАСНАВИ Яссер Сами Гариб<sup>2</sup>, инж. <sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет, <sup>2</sup>Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: kgasu@kgasu.ru

**К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ СТАЛЕБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА, АРМИРОВАННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫМ ПРОФИЛЕМ...7**

Приведены расчетная модель и методика оценки прочности изгибаемых сталебетонных элементов из ячеистого бетона, основанные на предельной относительной деформации сжатия. Численными исследованиями сталебетонных балок по методу предельных усилий, применяемых в СП 2666.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные», показаны большие расхождения с результатами натуральных экспериментов. Предложены формулы для отыскания границы сжатой зоны и оценки несущей способности изгибаемого элемента. Показана удовлетворительная сходимост предлагаемой методики.

**Ключевые слова:** сталебетонный изгибаемый элемент, ячеистый бетон, жесткая арматура, расчетная модель, граница сжатой зоны, изгибающий момент.

UDC 624.012.45 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.7.12. **TO THE ESTIMATION OF THE STRENGTH OF BENDED STEEL CONCRETE ELEMENTS FROM AREA CONCRETE REINFORCED WITH A COLD BENT PROFILE.** O.I. Efimov<sup>1</sup>, F.S. Zamaliev<sup>1</sup>, N.N. Laskov<sup>2</sup>, AL-Hasnawi Yasser Sami Ghareb<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, <sup>2</sup>Penza state University of architecture and construction; e-mail: kgasu@kgasu.ru

**Abstract.** A computational model and a method for assessing the strength of bending steel-concrete elements made of aerated concrete, based on the ultimate relative compressive deformation, are presented. Numerical studies of steel-concrete beams by the method of limiting efforts used in SP 2666.1325800.2016 “Steel-reinforced concrete structures” show large discrepancies with the results of field experiments. Formulas are proposed for finding the boundary of the compressed zone and assessing the bearing capacity of a bent element. Satisfactory convergence of the proposed method is shown.

**Key words:** steel-concrete bending element, cellular concrete, rigid reinforcement, design model, compressed zone boundary, bending moment.

УДК 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.13.18

Н.С. НОВОЖИЛОВА к.т.н., доцент Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: nsn01@list.ru  
**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ, УСИЛЕННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБОЙМОЙ ИЗ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ...13**

Анализировалось в программном комплексе ANSYS Workbench напряженно-деформированное состояние более 30 видов моделей кирпичных столбов из различных марок кирпича и раствора, усиленных железобетонными обоймами из легкого бетона различной плотности. Бетоны обойм рассматривались классов В10-В20. Напряжения в кладке и в бетоне обоймы изменяются в зависимости от плотности применяемого легкого бетона. С повышением плотности бетона обоймы при одинаковой прочности кладки и классе бетона наблюдается снижение напряжений в кладке и повышение напряжений в бетоне обоймы. По результатам исследования при усилении обоймами из легкого бетона плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup> выявлено неполное использование прочности бетона обойм при полном использовании прочностных характеристик кладки. При усилении обоймами из бетонов плотностью 1800-2000 кг/м<sup>3</sup> использование прочностных характеристик кладки и обоймы зависит от применяемого класса бетона на сжатие.

**Ключевые слова:** кирпичная кладка, усиление железобетонной обоймой, легкий бетон, напряженное состояние.

UDC 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.13.18. **RESEARCH OF THE STRESS STATE OF BRICK MASONRY REINFORCED WITH A REINFORCED CONCRETE COLLAR FROM LIGHTWEIGHT CONCRETE.** N.S. Novozhilova, Saint-Petersburg state university of architecture and civil engineering.

**Abstract.** Analyzed in the ANSYS Workbench software package, the stress-deformed state of more than 30 types of models of brick columns from various brands of bricks and a solution, reinforced by reinforced concrete clips from lightweight concrete of various densities. Concretes were considered for both classes in 10-B20. The voltage in the masonry and in the concrete of the climate change depending on the density of the used light concrete. With an increase in the density of the coherent concrete, with the same storage strength and concrete class, there is a decrease in stresses in the masonry and raising stresses in the concrete of the climate. According to the results of the study, with a strengthening of lung concrete, 1,400 kg/m<sup>3</sup> density was detected incomplete use of concrete strength for a fee with the full use of the strength characteristics of the masonry. When strengthening concrete closings with a density of 1800-2000 kg/m<sup>3</sup>, the use of the strength characteristics of the masonry and the cable depends on the applied concrete class on compression.

**Key words:** brickwork; strengthening reinforced concrete rope, lightweight concrete, stressful state.

[Нелинейные расчеты](#)

[Nonlinear calculations](#)

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.18.32

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru  
**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ В ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ТРЕХМЕРНОЙ ТЕОРИИ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ УПРУГОСТИ ДЛЯ РАЗРЫВНЫХ ЗАМЫКАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ В ДЕКАРТОВОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ...18**

Рассматривается построение дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях трехмерной теории физически нелинейной упругости в прямоугольной декартовой системе координат при билинейной аппроксимации графиков объемного и сдвигового деформирования. Физические зависимости записаны для четырех возможных законов деформирования сплошной среды в соответствии с билинейными графиками объемного и сдвигового деформирования. Законы деформирования определяются текущими модулями билинейных графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Сформулирован алгоритм определения напряженно-деформированного состояния нелинейно-упругих тел в трехмерной постановке, замыкающие уравнения для которых аппроксимируются билинейными функциями. Алгоритм основан на определении возможного положения поверхностей излома объемного и сдвигового деформирования. При этом выявлены шесть вариантов, характеризующихся взаимным расположением поверхностей излома объемных и сдвиговых деформаций, в каждом из которых возможны не более четырех случаев, различающихся соотношениями первого инварианта тензора деформаций и интенсивности деформаций сдвига по отношению к их значениям, определяющим точки излома графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Построены трехмерные дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях и алгоритм определения напряженно-деформированного состояния трехмерных тел могут найти практическое приложение при расчете конструкций с использованием трехмерных уравнений равновесия физически нелинейной теории упругости в перемещениях, замыкающие уравнения физических соотношений для которых аппроксимированы билинейными функциями.

**Ключевые слова:** трехмерная теория упругости, физическая нелинейность, дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях, билинейная аппроксимация замыкающих уравнений, алгоритм.

UDC 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.18.32. **DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EQUILIBRIUM IN DISPLACEMENT OF THREE-DIMENSIONAL THEORY OF PHYSICALLY NONLINEAR ELASTICITY FOR DISCONTINUOUS CLOSING EQUATIONS IN CARTESIAN COORDINATES SYSTEM.** S.V. Bakushev. The Penza state university of architecture and construction; e-mail: bakuchsv@mail.ru

**Abstract.** We consider the construction of differential equations of equilibrium in displacements of three-dimensional theory of physically nonlinear elasticity in rectangular Cartesian coordinate system at bilinear approximation of volumetric and shear deformation graphs. Physical dependences are written for four possible rules of deformation of continuous medium in accordance with bilinear graphs of volumetric and shear deformation. The deformation rules are determined by secant modules of bilinear graphs of volumetric and shear deformation diagrams. An algorithm has been formulated for determining the stress-strain state of nonlinear elastic bodies in three-dimensional formulation, the closing equations for which are approximated by bilinear functions. The algorithm is based on determining of the possible position of fracture surfaces of volumetric and shear deformation. Therefore six variants have been identified, characterized by geometric relationship of fracture surfaces of volumetric and shear deformations, in each of them no more than four cases are possible, differing in ratios of the first invariant of the strain tensor and the intensity of shear deformations with respect to their values, which determine break points of volumetric and shear deformation diagrams. The constructed three-dimensional differential equations of equilibrium in displacements and an algorithm for determining the stress-strain state of three-dimensional bodies can be applied in calculating structures using three-dimensional equilibrium equations of the physically nonlinear theory of elasticity in displacements, the closing equations of physical relations for which are approximated by bilinear functions.

**Key words:** three-dimensional theory of elasticity, physical nonlinearity, differential equations of equilibrium in displacements, bilinear approximation of closing equations, algorithm.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.33.41

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доц. **Пятигорский институт Северо-Кавказского федерального университета; e-mail: al\_marut@mail.ru**

### **ТРЕУГОЛЬНАЯ РАВНОКАТЕТНАЯ ПРОФИЛЬНАЯ ТРУБА (ГНУТОСВАРНОЙ ПРОФИЛЬ) И РАСЧЕТ ЕЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ...33**

Приведено новое техническое решение треугольной равнокатетной профильной трубы (гнуто сварного профиля), оптимизированной по критерию равноустойчивости применительно к ферменным конструкциям. при помощи приближенной методики расчета тонкостенных сечений по их средним (срединным) линиям, неоднократно апробированной в варианном и оптимальном проектировании несущих конструкций. Ее отличительный признак заключен в том, что двойные отбортки после заварки продольного шва формируют снаружи прямой угол катетов профиля, а внутри – вертикальное ребро шириной, равной четырем толщинам трубы, и высотой, составляющей 0,2698 гипотенузы, расположенной горизонтально. Представлен сравнительный расчет конструктивных коэффициентов и коэффициентов использования поясных элементов из прямоугольных и равнокатетных труб на примере их реализации в одной и той же полуферме (отправочной марке). Выявлено уменьшение расхода конструкционного материала (стали) и снижение строительной высоты ферменной конструкции. Как следствие из представленного обновления поясных элементов ферменной конструкции обозначена перспективность не менее эффективного обновления и стержневых элементов ее решетки. Еще раз подтверждена приемлемая корректность приближенной методики расчета для ее применения на разных стадиях проектирования несущих конструкций.

**Ключевые слова:** расчет оптимальных параметров, равноустойчивые сечения, профильные трубы, гнутосварные профили, ферменные системы, решетчатые конструкции. UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.33.41. **TRIANGULAR EQUAL-ROLLED PROFILE PIPE (BENT-WELDED PROFILE) AND CALCULATION OF ITS OPTIMAL PARAMETERS FOR TRUSS STRUCTURE.** A.S. Marutyan, Branch of the North Caucasus Federal University, Pyatigorsk.

**Abstract.** The article gives a new technical solution of triangular equal-rolled profile pipe (bent-welded profile) optimized according to the criterion of equal stability in relation to trusses. The solution is based on the approximate method for calculating thin-walled sections along their median lines, tested in the variant and optimal design of load-bearing structures. Its distinctive feature lies in the fact that the double flangings after welding the longitudinal seam form a right angle of the profile legs outside, and inside form a vertical rib with the width equal to four pipe thicknesses and the height of 0.2698 hypotenuse set horizontally. A comparative calculation of the design coefficients and coefficients of the use of belt elements from rectangular and equal-rolled pipes is presented with the example of their implementation in the same semi-truss. The article reveals the reduction in consumption of structural material (steel) and lower construction height of the truss structure. As a consequence of the presented renewal of the belt elements of the truss structure, the prospects of effective renewal of the core elements of its lattice are indicated. The acceptable correctness of the approximate calculation method for its application at different stages of the design of load-bearing structures has been confirmed.

**Key words:** calculation of optimal parameters, equidistant sections, profile pipes, bent-welded profiles, truss systems, lattice structures.

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.42.50

М.И. ФАРФЕЛЬ<sup>1,2</sup>, к.т.н., С.В. ГУРОВ<sup>1</sup> **ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»); <sup>2</sup>НИУ МГСУ, г. Москва; e-mail: farfelmi@yandex.ru**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕМБРАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ...42**

В статье описаны преимущества мембранных покрытий по сравнению с покрытиями из традиционных стропильных конструкций. Приведены исторические факты о применении первых покрытий из мембран, разработанных великим русским инженером В.Г. Шуховым. Рассмотрены мероприятия, обеспечивающие безмоментную работу опорного контура мембранного покрытия на прямоугольном плане. Приведены примеры мембранных перекрытий с безмоментной работой на прямоугольном опорном контуре. В работе перечислены наиболее известные покрытия с применением тонколистовых мембран, как из малоуглеродистых и низколегированных сталей, так и из нержавеющей сталей, причем мембранные покрытия из нержавеющей сталей были сооружены 40 лет назад и в настоящее время продолжают безопасно эксплуатироваться. Указано, что мембранные покрытия сооружались в основном из традиционных «черных» сталей. Проанализированы преимущества использования нержавеющей стали в качестве пролетной конструкции. Описан механизм, позволяющий устранить основной недостаток стальных конструкций, способность к коррозии. Приведены механические характеристики нескольких типов нержавеющей сталей для применения в качестве мембранного покрытия.

**Ключевые слова:** мембрана, опорный контур, стабилизация, ценные усиления, нержавеющая сталь, мембранное покрытие, большепролетное покрытие, стальной каркас, безмоментная работа опорного контура. UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.42.50. **IMPROVING THE EFFICIENCY OF MEMBRANE STRUCTURES WHEN USING STAINLESS STEELS.** M.I. Farfel<sup>1,2</sup>, S.V. Gurov<sup>1</sup>, <sup>1</sup>TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC “SIC “Construction”), Moscow, <sup>2</sup>NRU MGSU, Moscow.

**Abstract.** The article describes the advantages of membrane coatings in comparison with coatings with traditional rafter structures. The historical facts about the first membrane coatings developed by the great Russian engineer V.G. Shukhov are given. The measures ensuring the smooth operation of the membrane coating on a rectangular plan are considered. Examples of membrane overlaps with non-bending operation on a rectangular support contour are given. The paper lists the most well-known coatings using thin-sheet membranes, both from low-carbon and low-alloy steels, and from stainless steels, moreover, membrane coatings made of stainless steels were constructed 40 years ago and currently continue to be safely operated. It is indicated that the membrane coatings were constructed mainly from traditional “black” steels. The advantages of using stainless steel as a span structure are analyzed. The mechanism allowing to eliminate the main disadvantage of steel structures, the ability to corrosion, is described, the mechanical characteristics of several types of stainless steels for use as a membrane coating are given.

**Key words:** membrane, support circuit, stabilization, chain forces, stainless steel, membrane coating, long span coating, steel frame, instantaneous operation of the support circuit.

[Экспериментальные исследования](#)

[Experimental studies](#)

УДК: 69.07, 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.51.59

Д.В. КОНИН, к.т.н., П.В. НАХВАЛЬНОВ, инж. научный сотруд. **ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»;** e-mail: konden@inbox.ru

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОБОЛТОВЫХ СРЕЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ...51**

Ввиду более строгих конструктивных требований для соединений конструкций из сталей с пределом текучести свыше 375 МПа, эффективность применения сталей высокой прочности существенно снижается. Описаны опытные модели соединений из сталей С390 и С440 (R<sub>y</sub> до 500 МПа), испытанных на сжатие и растяжение с толщиной пакета до 120 мм и с болтами 10,9 диаметром до 30 мм. Представлены и проанализированы результаты испытаний. Установлено, что соединения обладают достаточной пластичностью для равномерной передачи нагрузок между болтами, что делает возможным использовать срезные соединения с болтами класса точности В без ограничений. На основании анализа данных выявлено, что при конструировании многоболтовых срезных соединений из рассмотренных сталей уменьшение межболтового расстояния не дает различия в результатах как по несущей способности, так и по деформативности соединений. Установлено значение коэффициента γ<sub>b</sub>, который учитывает условия работы соединения при уменьшении расстояния от центра болта до края элемента при применении высокопрочных сталей.

**Ключевые слова:** болт, срез, растяжение, сжатие, сдвиг, перемещение, пластическая деформация, многоболтовое соединение, срезное соединение, высокопрочная сталь. UDC: 69.07, 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.51.59. **EXPERIMENTAL STUDY OF MULTI-BOLT SHEAR JOINTS MADE OF HIGH-STRENGTH STEELS.** D.V. Konin, P.V. Nakhvalnov. TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC “SIC “Construction”), Moscow; e-mail: konden@inbox.ru

**Abstract.** Due to more stricter Russian codes requirements for joints of steel structures with yield strength more than 375 MPa, the effectiveness of the use of high-strength steels is significantly reduced. Experimental models of joints made of S390 and S440 steels (fy up to 500 MPa) tested for compression and tension with a package thickness up to 120 mm and with 10.9 bolts with a diameter of up to 30 mm are described. The test results are presented and analyzed. It is established that the joints have sufficient plasticity for uniform transfer of loads between the bolts, which makes it possible to use shear joints with bolts of accuracy class B without restrictions. Based on data analysis, it was revealed that when designing multi-bolt shear joints, decrease of interbolt distance does not give a difference in the results both in bearing capacity and in deformability of the joints. The value of the coefficient γ<sub>b</sub> has been established, which takes into account working conditions of joint when reducing distance from center of bolt to the edge of element when using high-strength steels.

**Key words:** bolt, shear, tension, compression, shear, displacement, plastic deformation, multi-bolt joint, shear joint, high-strength steel.

УДК 691.421.666.72:691:620.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.60.65

В.И. ОБОЗОВ, д.т.н., проф., М.А. МУХИН, инж., А.С. ВЕТКОВ, инж. **ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»); e-mail: obozov@yandex.ru**

### **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЕВОГО РАСТВОРА В КЛАДКЕ ИЗ ГАЗОСИЛИКАТНЫХ БЛОКОВ...60**

Исследован вопрос применения клевого раствора в кладке фасадных стен из газосиликатных блоков в многоэтажных зданиях. Особенностью условий применения кладки из газосиликатных блоков на клеевом растворе в многоэтажных зданиях являются значительные горизонтальные воздействия от ветровых нагрузок с учетом пульсаций. В связи с этим к кладке фасадных стен из блоков предъявляются повышенные требования по прочности. Исследования проведены на примере монолитного железобетонного здания высотой 28 этажей с навесным вентилируемым фасадом. Горизонтальная нагрузка на заполнение наружных стен из блоков передается окнами через крепежные элементы, расположенные по периметру окна. Выполнены расчеты на ветровую нагрузку 6 различных участков заполнения наружных стен на 28-м этаже, где ветровая нагрузка имеет максимальное значение. На основании расчетов сформулированы требования к кладке из газосиликатных блоков на клеевом растворе. Для определения фактической прочности кладки проведены испытания образцов, взятых из выполненной кладки на объекте. По результатам испытания образцов сформулированы дополнительные требования к кладке, в том числе к контролю качества по выполнению кладки из газосиликатных блоков на объекте.

**Ключевые слова:** здание, кладка, газосиликатный блок, клеевой раствор, ветровая нагрузка, расчет, компьютерная модель, объемный конечный элемент, испытание образцов, прочность. UDC 691.421.666.72:691:620.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.60.65. **EXPERIENCE OF APPLICATION OF ADHESIVE MORTAR IN MASONRY FROM GAS-SILICATE BLOCKS.** V.I. Obzov, M.A. Mukhin, A.S. Vetkov, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC “SIC “Construction”), Moscow; e-mail: obozov@yandex.ru

**Abstract.** The question of the use of an adhesive solution in the laying of facade walls made of gas silicate blocks in multi-storey buildings has been investigated. A feature of the conditions for using masonry from gas silicate blocks on an adhesive solution in multi-storey buildings is significant horizontal effects from wind loads, taking into account pulsations. In this regard, increased requirements for strength are imposed on the masonry of facade walls made of blocks. The research was carried out on the example of a monolithic reinforced concrete building with a height of 28 floors with a hinged ventilated facade. The horizontal load on the filling of the outer walls from the blocks is transferred by the windows through the fasteners located along the perimeter of the window. Calculations were made for the wind load of 6 different filling areas of the outer walls on the 28th floor, where the wind load has a maximum value. Based on the calculations, the requirements for masonry made of gas silicate blocks on an adhesive solution are formulated. To determine the actual strength of the masonry, tests were carried out on samples taken from the completed masonry at the facility. Based on the results of testing the samples, additional requirements for the masonry were formulated, including quality control for the execution of masonry from gas silicate blocks at the facility.

**Key words:** building, masonry, gas silicate block, adhesive solution, wind load, calculation, computer model, volumetric finite element, testing of samples, strength.

УДК 692.232.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.66.72

М.О. ПАВЛОВА, к.т.н., М.Н. ПAVЛЕНКО, инж., М.А. ЗАБЕГИН, инж., П.Е. МАХОНИНА, инж. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко(АО«НИЦ«Строительство»); e-mail: 1747302@mail.ru

**ОСОБЕННОСТИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КРУПНОФОРМАТНЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ КЕРАМОГРАНИТА И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА ФАСАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...66**  
Проведены работы по исследованию фасадной конструкции с применением в качестве облицовочного материала крупноформатных керамогранитных плит с целью доработки и совершенствования узлов крепления. Новые технические решения устройства фасадных конструкций требуют комплексного подхода при подтверждении возможности их применения. Выполнено расчетно-теоретическое обоснование работы конструкции, проведены лабораторные испытания. По результатам проведенного комплекса работ внесены изменения в конструктивную схему фасадной конструкции, составлена технологическая карта и сформированы рекомендации по ведению строительно-монтажных работ модифицированной конструкции.

**Ключевые слова:** фасад здания, крупноформатная облицовка, керамогранитные плиты, ограждающие конструкции, фасадные конструкции, лабораторные испытания, эксплуатационная надежность, механическая безопасность.

UDC 692.232.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.66.72. **FEATURES OF JOINT WORK OF LARGE-FORMAT PANELS MADE OF PORCELAIN STONEWARE AND METAL FRAME OF FACADE STRUCTURES.** M.O. Pavlova, M.N. Pavlenko, M.A. Zabegin, P.E. Makhonina. TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: 1747302@mail.ru

**Abstract.** Carried out work on the study of the facade structure using large-format granite slabs as a facing material in order to refine and improve the fastening units. New technical solutions for the construction of facade structures require an integrated approach when confirming the possibility of their application. The design and theoretical justification of the design was carried out, laboratory tests were carried out. Based on the results of the complex of works carried out, changes were made to the structural scheme of the facade structure, a technological map was compiled and recommendations were formed for conducting construction and installation works of the modified structure.

**Key words:** building facade, large-format cladding, porcelain stoneware panels, enclosing structures, facade structures, laboratory tests, operational reliability, mechanical safety.

[Рецензии](#)

[Reviews](#)

Сидоров В.Н. член-корреспондент РААСН доктор технических наук, профессор. РУТ (МИИТ)

Рецензия на монографию И.И. Иванченко «Динамика мостов (высокоскоростные подвижные, аэродинамические и сейсмические нагрузки)»...73

Sidorov V.N. Corresponding member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor. RUTH (MIIT)

Review of I.I. Ivanchenko's monograph «Dynamics of bridges (high-speed mobile, aerodynamic and seismic loads)»...73

[Наши юбилеи](#)

[Our anniversaries](#)

Еремееву Павлу Георгиевичу – 80 лет ..... 74

Pavel Georgievich Yermeyev is 80 years old ..... 74

Райзеру Владимиру Давидовичу – 85 лет ..... 75

Raiser Vladimir Davidovich is 85 years old..... 75

## Журнал «Строительная механика и расчет сооружений» 2022 год



**№ 1 за 2022 год**

[Памяти ученого](#)

[Memories of the scientist](#)

**К 95-летию со дня рождения Г.А.Гениева...2**

**To the 95th anniversary of the birth of G.A. Geniev**

[Расчеты на устойчивость](#)

[Stability calculation](#)

УДК 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.4.13

М.И. ФАРФЕЛЬ<sup>1,2</sup>, к.т.н., М.И. ГУКОВА<sup>1</sup>, к.т.н., А.Е. СВЯТОШЕНКО<sup>3</sup>, к.т.н., <sup>1</sup>ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО«НИЦ«Строительство»), г. Москва, <sup>2</sup>НИУ МГСУ, г. Москва, <sup>3</sup>ГАУ НО «Управление госэкспертизы» г. Нижний Новгород; e-mail: farfelmi@yandex.ru

**ОБЩАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ БАЛОК ДВУТАВРОВОГО ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ. РАЗВИТИЕ РАСЧЕТНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ...4**

В работе представлен вывод формул для методики расчета изгибаемых элементов на общую устойчивость, приведенной в СП 16.13330, который выполнен на основе теории тонкостенных упругих стержней и системе дифференциальных уравнений В.З. Власова. Приведены формулы для однопролетной балки с шарнирным креплением опор. Составлено общее уравнение для расчета коэффициента устойчивости при изгибе  $\phi_1$ , которое позволяет адаптировать требования норм СП 16.13330 к различным видам действия нагрузки в пролете балки. Результаты представлены для двадцати пяти различных видов действия внешней нагрузки. Формулы учитывают произвольное расположение нагрузки по высоте сечения балки, от нижней кромки нижнего пояса до верхней кромки верхнего пояса. Определены величины критического момента  $M_{cr}$ , при котором в балке возникает новая форма равновесного состояния, выполнено по выводам работы. Критический момент  $M_{cr}$  рассчитан в форме задачи устойчивости первого рода – потеря устойчивого положения элемента прямолинейной формы (нагрузка действует по линии центра изгиба, нейтральная ось балки прямолинейна, материал упругий). Формулы представленной таблицы могут быть для выполнения проверочных расчетов.

**Ключевые слова:** критический момент, устойчивость первого рода, плоская форма изгиба, устойчивость изгибаемых элементов, однопролетные балки, общая устойчивость изгибаемых элементов, устойчивость плоской формы изгиба, изгибаемые элементы, коэффициент устойчивости при изгибе.

UDC 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.4.13. **TOTAL STABILITY OF TWO CONSTANT SECTION BEAMS. DEVELOPMENT OF PAYMENT PROVISIONS.** M.I. Farfel<sup>1,2</sup>, M.I. Gukova<sup>1</sup>, A.E. Svyatoshenko<sup>3</sup>, <sup>1</sup>TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow, <sup>2</sup>NRU MGSU, Moscow, <sup>3</sup>State Expert Examination Department, Nizhny Novgorod; e-mail: farfelmi@yandex.ru

**Abstract.** The paper presents the derivation of formulas for the method of calculating bent elements for general stability, given in SP 16.13330, which is based on the theory of thin-walled elastic rods and the system of differential equations of V. Z. Vlasov. Formulas are given for a single-span beam with a hinged mounting of supports. A general equation has been compiled for calculating the bending stability coefficient  $\phi_1$ , which allows adapting the requirements of SP 16.13330 standards to various types of load action in the beam span. The results are presented for twenty-five different types of external load action. The formulas take into account the arbitrary location of the load along the height of the beam section, from the lower edge of the lower belt to the upper edge of the upper belt. The values of the critical moment  $M_{cr}$ , at which a new form of equilibrium state arises in the beam, are determined, according to the conclusions of the work [6]. The critical moment  $M_{cr}$  is calculated in the form of a stability problem of the first kind – the loss of a stable position of an element of a rectilinear shape (the load acts along the line of the bending center, the neutral axis of the beam is rectilinear, the material is elastic). The formulas of the presented table can be used to perform verification calculations.

**Key words:** critical moment, stability of the first kind, flat bending, stability of bending elements, single-span beams, general stability of bending elements, stability of flat bending, bending elements, bending stability coefficient.

УДК 624.04 . DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.14.20

А.Ю. КИМ, д.т.н., проф., М.Ф. АМОЯН, асп., В.Е. ХАПИЛИН, асп., Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. (СГТУ им. Гагарина Ю.А.); e-mail: sberbanksp@yandex.ru

**СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИНЗООБРАЗНОГО МЕМБРАННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ СООРУЖЕНИЯ...14**

Актуальность разрабатываемой авторами данной статьи темы состоит в том, что линзообразные пневматические покрытия сооружений показали высокую несущую способность, но она проявляется лишь тогда, когда покрытие, запроектированное в соответствии с действующими нормами строительного проектирования сооружений, не теряет от снеговых нагрузок устойчивости. Целью исследования является разработка способа поиска параметров и назначения величины избыточного давления воздуха, достаточной для обеспечения устойчивости нелинейного линзообразного мембранно-пневматического покрытия больших пролетов при статических нагрузках. В данной статье рассматривается статический расчет на потерю устойчивости линзообразного мембранно-пневматического сооружения. Излагаются основные работы других авторов по данному вопросу, подробно описан метод исследований, примененный авторами статьи. Подробно описаны полученные результаты исследований и приведено их сравнение с результатами других авторов. В заключение даны основные выводы по результатам данного исследования.

**Ключевые слова:** расчет на устойчивость пневматического сооружения, учет нелинейной работы линзообразного мембранно-пневматического сооружения, расчет несущей способности пневматических линзообразных сооружений.

**Abstract.** The relevance of the topic developed by the authors of this article consists in the fact that lenticular pneumatic coatings of structures have shown high load-bearing capacity, but it manifests itself only when the coating, designed in accordance with the current norms of construction design of structures, does not lose stability from snow loads. The aim of the study is to develop a method for finding parameters and assigning a value of excess air pressure sufficient to ensure the stability of a nonlinear lenticular membrane-pneumatic coating of large spans under static loads. This article discusses a static calculation for the loss of stability of a lenticular membrane-pneumatic structure. The main works of other authors on this issue are presented, the research method used by the authors of the article is described in detail. The obtained research results are described in detail and their comparison with the results of other authors is given. In conclusion, the main conclusions based on the results of this study are given.

**Key words:** calculation of the stability of a pneumatic structure, taking into account the nonlinear operation of a lenticular membrane-pneumatic structure, calculation of the bearing capacity of pneumatic lenticular structures.

#### [Расчеты на надежность](#)

#### [Reliability calculation](#)

УДК 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.20.28

**А.А. СОЛОВЬЕВА, асп., С.А. СОЛОВЬЕВ, к.т.н., ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда; e-mail: solovevaa@vogu35.ru**

#### **РАЗРАБОТКА УТОЧНЕННОГО Р-БЛОКА КАК МОДЕЛИ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...20**

В исследовании представлен новый тип р-блока (probability box) для моделирования случайных величин в задачах анализа надежности элементов строительных конструкций и оснований. Преимуществом представленной модели случайной величины является то, что она строится по доверительным оценкам статистических параметров без необходимости подтверждения гипотезы о виде функции распределения вероятностей и ее параметрах. На численном примере показано, что введение в р-блоки на основе неравенства П.Л. Чебышева дополнительной информации в виде доверительного интервала медианы по выборочной совокупности данных позволяет существенно сократить область между граничными функциями распределения случайной величины. Это позволяет понизить уровень неопределенности при дальнейших операциях с р-блоками в задачах оценки вероятности безотказной работы элементов строительных конструкций, что отчетливо видно после дискретизации р-блока в структуру Демпстера–Шефера.

**Ключевые слова:** надежность, вероятностный анализ, р-блок, случайные величины, вероятность отказа, безопасность.

UDC 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.20.28. **DEVELOPMENT OF A REFINED P-BOX AS A RANDOM VARIABLE MODEL IN PROBLEMS OF STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS.** A.A. Soloveva, S.A. Solovev, Vologda State University; e-mail: solovevaa@vogu35.ru

**Abstract.** The article describes a new type of the p-box (probability box) for random variables modeling in problems of structural reliability analysis. The advantage of the presented random variable model is that it is based on confidence estimates of statistical parameters without the need to confirm the hypothesis about the type of probability distribution function. The numerical example shows that the introduction of additional information in the form of a median's confidence interval to the p-boxes based on the Chebyshev's inequality is leading to reducing the area between the boundary distribution functions of the random variable. This makes it possible to reduce the level of uncertainty during further arithmetical operations with p-boxes in problems of structural reliability analysis, which is clearly visible after the discretization of the p-boxes into the Dempster-Shafer structure.

**Key words:** reliability, probabilistic analysis, p-box, random variables, failure probability, structural safety.

#### [Нелинейные расчеты](#)

#### [Nonlinear calculations](#)

УДК 539.371 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.29.36

**С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru**

#### **ЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ С УЧЕТОМ КВАДРАТИЧНЫХ СЛАГАЕМЫХ...29**

Предлагается вариант линейной теории, основанный на учете в разложениях Тейлора для напряжений и в степенных рядах для деформаций квадратичных слагаемых. При этом статические уравнения равновесия в напряжениях записываются в виде дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Разрешающие уравнения равновесия в перемещениях представляются в виде дифференциальных уравнений в частных производных третьего порядка. Физические уравнения в данном варианте линейной теории упругости записываются так же, как и в классической линейной теории упругости. Уравнения равновесия наряду с другими параметрами – физическими константами среды – содержат малые параметры  $dx dy dz$ , , , величина которых, как показывает численное моделирование, мало влияет на характер напряженно-деформированного состояния. Для их определения предлагается использовать данные экспериментов. Наряду с записью основных уравнений трехмерной теории упругости рассмотрены частные случаи напряженно-деформированного состояния упругой сплошной среды: одноосное напряженное состояние; одноосное деформированное состояние; плоская деформация; обобщенное плоское напряженное состояние. В качестве примеров рассмотрено определение напряженного и деформированного состояния тонкого упругого стержня путем интегрирования разрешающих уравнений в напряжениях и в перемещениях. Предложенный вариант линейной теории упругости, в силу учета квадратичных слагаемых в разложениях Тейлора для напряжений и в степенных рядах для деформаций, расширяет классическую линейную теорию упругости и, при соответствующем экспериментальном обосновании, может привести к новым качественным эффектам при расчете упругих деформируемых тел.

**Ключевые слова:** вариант линейной теории упругости, уравнения равновесия в напряжениях, уравнения равновесия в перемещениях.

UDC 539.371 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.29.36. **LINEAR THEORY OF ELASTICITY WITH QUADRATIC SUMMAND.** S.V. Bakushev, The Penza state university of architecture and construction; e-mail: bakuchsv@mail.ru

**Abstract.** We suggest a linear theory version based on Taylor decompositions for stresses and power-series for quadratic summand deformations. Thus, static equations of equilibrium in stresses are written in the form of the second-order partial derivatives differential equations. The resolving equations of equilibrium in displacements are represented in the form of the third order partial derivatives differential equations. The physical equations in this version of the linear theory of elasticity are written in the same way as in the classical linear theory of elasticity. Equilibrium equations, along with other parameters – physical constants of the medium – contain minor parameters  $dx dy dz$ , , , the value of which, as shown by numerical modelling, has little effect on the nature of the stress-strain state. It is suggested to use experimental data to determine them. Along with the formulating of the basic equations of the three-dimensional theory of elasticity, particular cases of the stress-strain state of elastic continuous medium are considered: uniaxial stressed state; uniaxial deformed state; flat deformation; generalized plane stress state. Determination of the stressed and deformed state of a thin elastic bar by integrating the resolving equations in stresses and displacements is considered as examples. The suggested version of the linear theory of elasticity, due to the quadratic summand in Taylor decompositions for stresses and in power-series for deformations, expands the classical linear theory of elasticity and, with an appropriate experimental justification, can lead to new qualitative effects in the calculation of elastic deformable bodies.

**Key words:** version of the linear theory of elasticity, equilibrium equations in stresses, equilibrium equations in displacements.

УДК 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.37.46

**О.В. КОЗУНОВА, к.т.н., доцент, вед.науч.сотр.<sup>1</sup>, докторант<sup>2</sup> <sup>1</sup>Белорусский государственный университет транспорта, г.Гомель, <sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, г.Минск; e-mail: kozunova@gmail.com**

#### **НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С ПОМОЩЬЮ ЗАВИСИМОСТИ «ЖЕСТКОСТЬ–КРИВИЗНА»...37**

Рассматривается железобетонная балка на произвольном упругом основании под действием внешней нагрузки. Определяются ее перемещения и распределение внутренних усилий в ее сечениях. Расчет выполняется вариационно-разностным методом при использовании конечных разностей повышенной точности. Вначале балка разбивается на одинаковые прямоугольные участки и для упругого основания строится матрица жесткости как обратная матрице податливости. Составляется функционал полной потенциальной энергии как суммы энергии изгиба балки, деформации упругого основания и работы внешней нагрузки в виде квадратичной функции перемещений центров участков на балке. Дифференцированием последней по каждому перемещению образуется система линейных алгебраических уравнений, решением которой являются перемещения центров участков на балке. Организуется итерационный алгоритм, где на каждой итерации по зависимости «жесткость–кривизна» уточняется изгибная жесткость на каждом участке балки. Приводятся примеры расчета балок прямоугольного сечения на упругом слое и основании Винклера..

**Ключевые слова:** упругое основание, железобетонная балка, вариационно-разностный метод, зависимость «жесткость–кривизна».

UDC 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.37.46. **NONLINEAR CALCULATION OF A REINFORCED CONCRETE BEAM ON AN ELASTIC BASE USING THE “STIFFNESS–CURVATURE” RELATIONSHIP.** O.V. Kozunova, BelSUT, Gomel, BNTU, Minsk; e-mail: kazunova@gmail.com

**Abstract.** A reinforced concrete beam on an arbitrary elastic base under the action of an external load is considered. Its movements and the distribution of internal forces in its sections are determined. The calculation is performed by the variation-difference method using finite differences of increased accuracy. Initially, the beam is divided into identical rectangular sections and a stiffness matrix is constructed for the elastic base as the inverse of the malleability matrix. The functional of the total potential energy is compiled as the sum of the energy of the bending of the beam, the deformation of the elastic base and the work of the external load in the form of a quadratic function of the displacements of the centers of the sections on the beam. By differentiating the latter for each displacement, a system of linear algebraic equations is formed, the solution of which is the displacement of the centers of the sections on the beam. An iterative algorithm is organized, where at each iteration, according to the “stiffness-curvature” relation-ship, the bending stiffness on each section of the beam is specified. Examples of calculation of rectangular cross-section beams on an elastic layer and a Winkler base are given.

**Key words:** elastic base, reinforced concrete beam, variation-difference method, “stiffness-curvature” dependence.

УДК 624.072.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.47.53

**А.И. ПРИТЫКИН, д.т.н. Калининградский государственный технический университет; e-mail: prit\_alex@mail.ru**

#### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЬНЫХ БАЛКАХ С ОВАЛЬНЫМИ И КРУГЛЫМИ ВЫРЕЗАМИ...47**

Рассмотрен уровень концентрации напряжений в балках, содержащих только регулярно расположенные круглые вырезы, регулярно расположенные овальные вырезы и варианты перфорации с чередующимися овальными и круглыми вырезами. Все расчетные схемы соответствуют реальным конструкциям, применяемым в строительной практике. Численный анализ проводился с помощью комплекса ANSYS для шарнирно опертых балок под действием сосредоточенных сил, приложенных вблизи середины пролета. Концентрация напряжений определялась как отношение напряжений по Мизесу в районе вырезов к уровню напряжений в полках. Для балок с круглыми и овальными вырезами представлены эмпирические зависимости для величин максимальных напряжений.

**Ключевые слова:** перфорированная балка, круглые и овальные вырезы, концентрация напряжений, сосредоточенная нагрузка, эмпирическая зависимость, МКЭ.

UDC 624.072.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.47.53. **INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE DESIGN ON THE STRESS LEVEL IN STEEL BEAMS WITH OVAL AND CIRCULAR OPENINGS.** A.I. Pritykin, Kaliningrad State Technical University; e-mail: prit\_alex@mail.ru

**Abstract.** With help of FEM it is considering influence of structure design of cellular beams on the stress level in them. It was analyzed scheme of beams containing only regularly located circular openings, regularly located oval openings and variants of perforation with alternate oval and circular openings. All design schemes correspond to real constructions applied in structural practice. Numerical analysis is carried out with help of program complex ANSYS for simply supported beams loaded with concentrated force at midspan. Stress concentration was determined as relation of maximum equivalent stresses on Mises in region of openings to the stress level in flanges of the same sizes beams with solid web. For beams with circular and oval openings it is represented empirical relations for values of maximum stresses.

**Key words:** cellular beams, circular and oval openings, stress concentration, concentrated force, empirical relation, FEM

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.54.58

**С.В. БОСАКОВ<sup>1</sup>**, д.т.н., проф., **Ю.Н. КОТОВ<sup>2</sup>**, магистр техн. наук, асп. <sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск, Республика Беларусь; <sup>2</sup>Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь; e-mail: Sevibo@yahoo.com

**КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ПЛАСТИНКИ ПРИ УСЛОВИИ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ЕЕ НЕКОТОРЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ...54**

В работе рассматривается задача расчета пластинки на упругом основании при условии, что часть точек пластинки при ее изгибе лежат в одной наклонной плоскости. Упругое основание, на котором располагается пластинка, считается упругим однородным изотропным полупространством. Подобная задача возникает, например, при расчете фундаментной плиты многоэтажного здания, когда точки фундаментной плиты под колоннами и диафрагмами жесткости находятся в одной плоскости. Для определения контактных напряжений между пластинкой и основанием используется способ Жемочкина. Система разрешающих канонических уравнений включает в себя уравнения способа Жемочкина и уравнения нахождения отдельных точек плиты в наклонной плоскости. В результате решения системы определяются усилия в связях Жемочкина и неизвестные силы, вызывающие перемещения опорной плиты базы в одной наклонной плоскости. Далее находятся перемещения пластинки и усилия в ней. В качестве примера рассчитана база вентцетренно сжатой металлической колонны двутаврового поперечного сечения, лежащей на бетонном основании. Показаны изолинии и графики контактных напряжений и перемещений, графики изгибающих моментов и перемещений по характерным сечениям базы.

**Ключевые слова:** пластинка, база металлической колонны, упругое основание, контактные напряжения, способ Жемочкина.

UDC 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.54.58. **CONTACT PROBLEM FOR INCLINED PLATE CONDITIONS OF EQUALITY OF ITS SOME DISPLACEMENT.** S.V. BOSAKOVI, Y.N. KOTOV2, 1Belarusian National Technical University, RUE «BelNIIS Institute», Minsk, Republic of Belarus, 2Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus; e-mail: Sevibo@yahoo.com

**Abstract.** Purpose. Calculation of the plate on flexible base where one part of the points of the plate base are in the same inclined plane during bending. The concrete foundation where a base plate is located is a flexible semi-infinite foundation. Method. To determine a contact voltage between the plate and the foundation the Zhemochkin method is used. The system of canonical equations includes the equations of the Zhemochkin method and the equation to find single points of the slab in the inclined plane. The result of solving the system determines the forces in the method of Zhemochkin and unknown forces causing the displacement of the base plate of the foundation in the same inclined plane. Then the displacement of the base plate and the forces in it are found. Results. Calculation of the metal foundation of an eccentrically compressed metal column with an I-beam cross-section based on a concrete surfacing. Isolines of equal contact voltages and displacements, graphs of voltage and displacement with the typical sections of the foundation are shown.

**Key words:** plate, foundation of a metal column, flexible foundation, contact voltage, Zhemochkin's method.

УДК 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.59.65

**В.В. МИЩЕНКО**, инж. АО «Ленгидропроект»; e-mail: mat\_c@mal.ru

**ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПОДВЕСА ТЯЖЕЛОЙ ГИБКОЙ НИТИ В ОБЩЕМ ВИДЕ...59**

Сформулированы основные задачи подвеса тяжелой гибкой нити в «точной» постановке: без использования «упрощений», характеризующих существующие методы расчета проводов и тросов ВЛ. Дано общее решение по определению фактического положения и тяжения гибкой нити, моделирующей провод ВЛ, на основании результатов натуральных геометрических измерений. Показана возможность решения «точных» задач с использованием существующего программного обеспечения.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, механический расчет провода, гибкая нить.

UDC 621.315.176 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.59.65. **APPLIED PROBLEMS OF SUSPENSION OF HEAVY FLEXIBLE THREAD IN GENERAL.** V.V. Mishchenko, Chief Project Engineer of JSC «Lengidroproekt», e-mail: mat\_c@mal.ru.

**Abstract.** The main tasks of suspension of a heavy flexible thread are formulated in an “exact” formulation: without the use of “simplifications” characterizing the existing methods of calculating overhead wires and cables. A general solution is given to determine the actual position and gravity of the flexible thread modeling the overhead line wire, based on the results of full-scale geometric measurements. The possibility of solving “exact” problems using existing software is shown.

**Key words:** power line, mechanical wire calculation, flexible thread.

[В порядке обсуждения](#)

[In order to discuss](#)

УДК 69.001.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.65.74

**И.А. ВОЗЯКОВ**, вед. инж. КУП «Управление капитального строительства Мингорисполкома», г. Минск; e-mail: 180185@tut.by

**ЭКОЛОГИЯ ЗДАНИЙ. АНАЛИЗ И МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ...65**

Рассмотрены вопросы проектирования, связанные с качеством воздуха в помещениях и «устойчивой архитектурой». Однако они, как правило, не были установлены на надежной аналитической основе. Акцент здесь делается на изучении аналитических методов и источников для разработки рекомендаций по рациональному проектированию здоровых зданий. Также в этой статье рассматриваются как внутренние условия, особенно проблемы качества воздуха в помещениях, так и общие экологические проблемы. В ней обсуждается оценка воздействия зданий на окружающую среду в целом. Она также анализирует имеющиеся данные для определения норм важных параметров зданий и основные исследования воздействия зданий на здоровье жильцов. Анализ, представленный здесь, призван помочь проектировщикам зданий определить приоритеты альтернативных вариантов проектирования, которые минимизируют вредное воздействие на внутреннюю и общую окружающую среду.

**Ключевые слова:** «здоровое здание», проектирование, качество воздуха, экология, микроклимат, ресурсосбережение.

UDC 69.001.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.65.74. **ECOLOGY OF BUILDINGS. ANALYSIS AND METHODS OF BUILDING DESIGN.** I.A. Voziakou, Municipal Unitary Enterprise “Capital Construction Management Minsk City Executive Committee”, the Republic of Belarus; e-mail: 180185@tut.by

Design issues related to indoor air quality and “sustainable architecture” are considered. However, they have generally not been established on a reliable analytical basis. The emphasis here is on the study of analytical methods and sources for the development of recommendations for the rational design of healthy buildings. Also, this article discusses both internal conditions, especially indoor air quality problems, and general environmental problems. It discusses the assessment of the impact of buildings on the environment as a whole. It also analyzes the available data to determine the norms of important parameters of buildings and analyzes the main studies of the impact of buildings on the health of residents. The analysis presented here is intended to help building designers prioritize alternative design options that minimize harmful effects on the internal and general environment.

**Key words:** “healthy building”, design, air quality, ecology, microclimate, resource conservation.

[Наши юбилеры](#)

[Our anniversaries](#)

**ЮРИЮ ЛАЗАРЕВИЧУ РУТМАНУ – 90 ЛЕТ...75**

Yuri Lazarevich Rutman is 90 years old.

[Краткие сообщения и заметки](#)

[Brief messages and notes](#)

УДК 624.042 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.76.77

**В.Г. ЗАЙКИН**, инж. ГУП ГПИ «Владимиргражданпроект»; e-mail: v.g.zaikin@mail.ru

**ПЕРВОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО ПРОЕКТНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ РАСЧЕТАМ...76**

Практика и верификация проектных электронных расчетов в строительных конструкциях: учебное пособие.

UDC 624.042 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.1.76.77. **THE FIRST TEXTBOOK ON PROJECT ELECTRONIC CALCULATIONS.** V.G. Zaikin, SUE GPI “Vladimirgrazhdanproekt”; e-mail: v.g.zaikin@mail.ru. G. Practice and verification of design electronic calculations in building structures: textbook.

**В.Н. СИМБИРКИН, к.т.н., Ю.В. ПАНАСЕНКО, инж., В.В. КУРНАВИН, инж. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»»; e-mail: simbirkin@eurosoft.ru**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЖИДКОСТНО-ВЯЗКОСТНЫХ ДЕМПФЕРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ СООРУЖЕНИЙ...4**

Выполнен сопоставительный анализ способов моделирования жидкостно-вязкостных демпферов, используемых для повышения расчетной сейсмостойкости сооружений. Рассмотрены модели нелинейно-вязкостных демпферов, реактивное усилие в которых нелинейно зависит от скорости перемещения штока, эквивалентных (по поглощенной энергии) линейно-вязкостных демпферов и эквивалентных (по максимальному усилию и поглощенной энергии) упругопластических элементов. В качестве примера использована расчетная модель несущей системы проектируемого здания одного из аэровокзалов. Применение системы сейсмической защиты в данном случае было единственным способом реализации в проекте архитектурных и объемно-планировочных решений здания на площадке сейсмичностью более 8 баллов. Используемые в статье методики реализованы в программном комплексе STARK ES и доступны для практического применения при проектировании и исследовании работы строительных конструкций.

**Ключевые слова:** динамический расчет, метод конечных элементов (МКЭ), сейсмостойкость, жидкостно-вязкостный демпфер.

UDC.624.04:519.62 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.2.8. **MODELLING OF HYDRAULIC VISCOUS DAMPERS IN SEISMIC ANALYSIS OF STRUCTURES.** V.N. Simbirkin, Yu.V. Panasenko, V.V. Kurnavin, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: simbirkin@eurosoft.ru

**Abstract.** The paper presents the derivation of formulas for the method of calculating bent elements for general stability, given in SP 16.13330, which is based on the theory of thin-walled elastic rods and the system of differential equations of V. Z. Vlasov. Formulas are given for a single-span beam with a hinged mounting of supports. A general equation has been compiled for calculating the bending stability coefficient  $\varphi_1$ , which allows adapting the requirements of SP16.13330 standards to various types of load action in the beam span. The results are presented for twenty-five different types of external load action. The formulas take into account the arbitrary location of the load along the height of the beam section, from the lower edge of the lower belt to the upper edge of the upper belt. The values of the critical moment  $M_{cr}$ , at which a new form of equilibrium state arises in the beam, are determined, according to the conclusions of the work [6]. The critical moment  $M_{cr}$  is calculated in the form of a stability problem of the first kind – the loss of a stable position of an element of a rectilinear shape (the load acts along the line of the bending center, the neutral axis of the beam is rectilinear, the material is elastic). The formulas of the presented table can be used to perform verification calculations.

**Key words:** critical moment, stability of the first kind, flat bending, stability of bending elements, single-span beams, general stability of bending elements, stability of flat bending, bending elements, bending stability coefficient.

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.9.14

**В.И. ОБОЗОВ, д.т.н., проф. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: obozov@yandex.ru**

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПРОСТЕНКОВ НАРУЖНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТЕН НА ВЕТРОВУЮ НАГРУЗКУ...9**

Приведены уравнения равновесия составляющих расчетную модель ветвей, а также уравнение для связей между слоями. Получена система трех дифференциальных уравнений, описывающих равновесие всей системы. Учитываются деформации сдвига в составляющих ветвях системы. Система трех дифференциальных уравнений второго порядка, описывающая равновесие системы, сведена к одному дифференциальному уравнению четвертого порядка. Для решения дифференциального уравнения четвертого порядка применена процедура Бубнова–Галеркина. В качестве аппроксимирующей решение функции предложен степенной ряд, удовлетворяющий всем граничным условиям. Удержаны первые три члена ряда. В итоге решение дифференциального уравнения сведено к решению трех обыкновенных алгебраических уравнений. В качестве иллюстрации метода расчета приведен пример расчета на ветровую нагрузку простенка шириной 150 см самонесущей наружной стены, соединенной металлическими связями с железобетонной несущей системой 18-этажного здания.

**Ключевые слова:** наружные многослойные стены многоэтажных зданий, составная система, расчетная схема, дифференциальное уравнение равновесия, процедура Бубнова–Галеркина, аппроксимирующая функция, граничные условия, пример расчета.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.9.14. **ANALYTICAL METHOD OF RASET PIER EXTERNAL MULTI-LAYER WALLS FOR WIND LOAD.** V.I. Obozov,

TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: obozov@yandex.ru

**Abstract.** A calculation model in the form of a composite rod is proposed to calculate the wind load of the piers of multilayer exterior walls that have connections between the layers. The equilibrium equations of the branches composing the computational model are given, as well as the equation for the connections between the layers. A system of three differential equations describing the equilibrium of the entire system is obtained. Shear deformations in the constituent branches of the system are taken into account. The system of three second-order differential equations describing the equilibrium of the system is reduced to one fourth-order differential equation. The Bubnov-Galerkin procedure is applied to solve the fourth-order differential equation. A power series satisfying all boundary conditions is proposed as an approximation of the solution of the function. The first three members of the row are retained. As a result, the solution of the differential equation is reduced to the solution of three ordinary algebraic equations. As an illustration of the calculation method, an example of calculating the wind load of a 150 cm wide wall of a self-supporting outer wall connected by metal ties with a reinforced concrete bearing system of an 18-storey building is given.

**Key words:** exterior multilayer walls of multi-storey buildings, composite system, calculation scheme, differential equation of equilibrium, Bubnov-Galerkin procedure, approximating function, boundary conditions, calculation example.

[Динамические расчеты](#)

[Dynamic calculation](#)

УДК 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.14.18

**А.М. АРУТЮНЯН, канд. физ.-мат. наук АО «НИЦ «Строительство» ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко; e-mail:89057254188@mail.ru**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО КОНТАКТА ФУНДАМЕНТА С ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ И ГРУНТОВОГО МАССИВА С НЕОДНОРОДНОСТЬЮ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ И РАСПОЛОЖЕНИЯ...14**

Предложена постановка плоских нестационарных контактных задач о взаимодействии абсолютно твердого фундамента с динамической нагрузкой и упругого полупространства с заглубленной полостью. Получена система разрешающих уравнений. Ядра основного разрешающего уравнения являются фундаментальные и сингулярные решения для упругой плоскости, представляющие собой перемещения и напряжения в упругой плоскости в ответ на действие единичного импульса. Разработан и реализован на ЭВМ оригинальный алгоритм решения с дополнительной итерационной процедурой, позволяющей учитывать частичный отрыв граничных поверхностей ударника и полупространства в области контакта.

**Ключевые слова:** распространение объемных возмущений, нестационарные контактные задачи теории упругости, смешанные граничные условия, принцип суперпозиции, динамическая теорема взаимности работ, интегральные преобразования, обобщенные функции, аналитические представления.

UDC 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.14.18. **INVESTIGATION OF THE NON-STATIONARY CONTACT OF THE FOUNDATION AND THE SOIL MASS WITH THE HETEROGENEITY OF ARBITRARY GEOMETRY AND LOCATION.** A.M. Arutyunyan, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail:89057254188@mail.ru

**Abstract.** Many important practical problems are associated with the study of the dynamic contact interaction of bounded bodies with semi-bounded elastic regions of a complex structure. These tasks are determined, among other things, by the problems of earthquake resistance and vibration protection of structures, the calculation of the level and characteristics of the impact on buildings and structures of manmade vibrations propagating in the ground, seismic exploration of minerals, etc. In the ground mass, there are often cavities of both natural (for example, karst cavities) and artificial (various communications, metro tunnels, buried waste storage facilities, etc.) origin. Therefore, the question of the degree of influence of such cavities on the wave fields generated taking into account their influence is significant. A narrow circle of domestic and foreign scientists deals with the problems of research and contact interaction of bodies with semi-limited areas of complex structure. Solving problems on the impact of a stamp on an elastic half-space.

**Key words:** distribution of volume perturbations, non-stationary contact problems of the theory of elasticity, mixed boundary conditions, the superposition principle, the dynamic reciprocity theorem of works, integral transformations, generalized functions, analytical representations.

[Расчеты на надежность](#)

[Reliability calculation](#)

УДК 624.011.78 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.19.22

**В.Е. БАТРАК, к.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г.Москва, e-mail: batrakve@yandex.ru**

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ПОЛИИЗОЦИАНУРАТНЫМ УТЕПЛИТЕЛЕМ...19**

Приводится оценка прочности трехслойных сэндвич-панелей при изгибе с учетом изменчивости нагрузок и прочности эффективного утеплителя – пенополиизоцианурата при сдвиге. Оценка прочности панелей проводится путем расчета коэффициента безопасности. По величине коэффициента безопасности назначается испытательная нагрузка на сэндвич-панели, гарантирующая безопасную эксплуатацию панелей при изгибе эксплуатационными нагрузками.

**Ключевые слова:** трехслойные сэндвич-панели, пенополиизоциануратные утеплители, эксплуатационные показатели, коэффициент безопасности, испытательная нагрузка.

UDC 624.011.78 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.19.22. **PROBABILISTIC EVALUATION OF PERFORMANCE INDICATORS OF THREE-LAYER PANELS WITH POLYISOCYANURATE INSULATION.** V.E. Batrak, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: batrakve@yandex.ru

**Abstract.** This article provides an assessment of the strength of three-layer sandwich panels during bending, taking into account the variability of loads and the strength of the effective insulation – polyisocyanurate foam during shear. The strength of the panels is assessed by calculating the safety factor. According to the value of the safety coefficient, a test load is assigned to the sandwich panels, which guarantees the safe operation of the panels during bending by operational loads.

**Key words:** structural fiberglass, composite materials, viscoelastic characteristics, creep, relaxation, longterm strength.



УДК 624.042.7 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.23.30

Е.В. ПОЗНЯК<sup>1</sup>, д.т.н., А.Г. БУГАЕВСКИЙ<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, В.Н. СИМБИРКИН<sup>3</sup>, к.т.н., В.В. КУРНАВИН<sup>4</sup>, инж. <sup>1</sup>ФГБОУ ВО НИУ МЭИ, <sup>2</sup>ИФЗ РАН, <sup>3</sup>ООО «Еврософт», <sup>4</sup>ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»); e-mail: elpoz@yandex.ru

**РАСЧЕТ ПОКРЫТИЯ СТАДИОНА НА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫМ ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ...23**

В статье представлен расчет покрытия стадиона (размер в плане 285 м) на дифференцированные сейсмические воздействия, проведенный модифицированным линейно-спектральным методом (ЛСМ). В качестве исходных данных для расчета применялись трехкомпонентные записи землетрясений (акселерограммы) в трех близких точках, с расстояниями между ними порядка 150–200 м. Расчет покрытия проведен на два природных землетрясения – кратковременное, преимущественно высокочастотное, и более продолжительное, преимущественно длиннопериодное. Акселерограммы землетрясений были получены при инструментальных наблюдениях для сейсмического микрорайонирования строительной площадки. Представлены расчетные параметры сейсмического воздействия, приведен сравнительный анализ результатов, полученных стандартным и модифицированным ЛСМ.

**Ключевые слова:** линейно-спектральный метод, дифференцированная модель сейсмического движения грунта, акселерограммы, сейсмический анализ, проектирование, стадион.  
UDC 624.042.7 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.23.30. **ANALYSIS OF STADIUM ROOF UNDER DIFFERENTIAL SEISMIC IMPACTS PERFORMED BY MODIFIED RESPONSE SPECTRUM METHOD.** E.V. Poznyak<sup>1</sup>, A.G. Bugaevsky<sup>2</sup>, V.N. Simbirkin<sup>3</sup>, V.V. Kurnavin<sup>4</sup>, <sup>1</sup>Power Engineering Institute National Research University, Moscow, <sup>2</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, <sup>3</sup>EuroSoft Co., Moscow, <sup>4</sup>TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC “Construction”), Moscow; e-mail: elpoz@yandex.ru

**Abstract.** The paper presents a seismic analysis of the stadium roof (size in plan 285 m) for differential seismic impacts, performed by a modified response spectrum method (RSM). Input data are three-component earthquake records (accelerograms) at three close points with distances of about 150–200 m. Analysis of the roof was performed for two natural earthquakes – short, mainly high-frequency, and longer, mainly long-period. Accelerograms of earthquakes were obtained during instrumental observations for microseismic zoning of the construction site. The parameters of the seismic impact and a comparative analysis of the results for the standard and modified RSM are present.

**Key words:** response spectrum method, differential model of seismic ground motion, accelerograms, seismic analysis, structural design, stadium.

УДК 694. 69.07 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.31.38

А.А. ПОГОРЕЛЬЦЕВ, к.т.н., С.Б. ТУРКОВСКИЙ, к.т.н. ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»); e-mail: pogara@yandex.ru

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ...31**

Анализ расчетных положений, свойств КДК и опыта их эксплуатации в объектах (после землетрясений) подтверждает эффективность применения деревянных конструкций в районах высокой сейсмической активности. Рекомендации СП 14.13330.2018 в части применения КДК крайне ограничены и не учитывают новых технических решений, в т.ч. узловых соединений системы ЦНИИСК. Исследования КДК на воздействие сейсмических нагрузок практически не проводились с начала их производства с 1973 г. Это тормозит применение КДК в России, где около 30% территорий находится в зоне с сейсмичностью 7–10 баллов. Обосновывается необходимость проведения исследований конструкций и их соединений с целью совершенствования СП 14.13330.2018 или развития СП 64.13330.2017 [3] для широкого применения КДК в сейсмических районах РФ.

**Ключевые слова:** сейсмические усилия, соединения клееных конструкций, эффективность, совершенствование норм проектирования, клеенные стержни, жесткие узлы.  
UDC 694, 69.07 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.31.38. **FEATURES OF APPLICATION OF GLULAM STRUCTURES IN SEISMIC AREAS.** A.A. Pogoreltsev, S.B. Turkovskiy, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC “Construction”), Moscow; e-mail: pogara@yandex.ru

**Abstract.** Analysis of the calculated provisions [1], the properties of SCC and the experience of their operation in facilities (after earthquakes) confirms the effectiveness of the use of wooden structures in areas of high seismic activity. Recommendations SNIP [1] in terms of the use of SCC are extremely limited and do not take into account new technical solutions, including nodal joints of the TSNIISK system. Since the beginning of their manufacture in 1973 the studies of CDC on the effect of seismic loads have been practically not conducted. It inhibits the application of CDC in Russia, where about 30% of the territories are in the zone with seismicity of 7–10 points. The necessity of research of structures and their connections in order to improve SP 14.13330.2018 or development of SP 64.13330.2017 [3] for wide application of QDC in seismic areas of the Russian Federation is substantiated.

**Key words:** seismic forces, connections of glued structures, efficiency, improvement of design norms, glued rods, rigid units.

УДК 624.042.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.39.46

И.В. ЛЕБЕДЕВА, к.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: ilebedeva61@gmail.com

**ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЭКСПЕРТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ МЕЖДУНАРОДНОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ...39**

Рассматриваются общие проблемы обеспечения надежности сооружений и новые предложения, подготовленные для включения в проект Изменения №1 Межгосударственного стандарта ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». Представлены основные изменения, связанные с пересмотром его отдельных разделов и положений, введением дополнений и поправок, а также наши предложения по пересмотру Международного стандарта ИСО 8930:2021 ред. 2 «Общие принципы надежности строительных конструкций – Глоссарий» и их реализации при подготовке новой редакции документа.

**Ключевые слова:** надежность, строительная конструкция, термины и их определения, Межгосударственный стандарт, Международный стандарт, Международная организация по стандартизации (ИСО), нагрузка, воздействие, особые воздействия, аварийная расчетная ситуация, научно-техническое сопровождение.

UDC 624.042.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.39.46. **PROBLEMS OF STRUCTURAL RELIABILITY CODIFICATION AND EXPERT ACTIVITY IN THE FIELD OF INTERNATIONAL STANDARDIZATION.** I.V. Lebedeva, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC “Construction”), Moscow; e-mail: ilebedeva61@gmail.com

**Abstract.** General problems of ensuring the reliability of structures and new proposals prepared for inclusion in the draft Amendment No. 1 of the Interstate Standard GOST 27751-2014 «Reliability for constructions and foundations. General principles» are considered. The main changes related to the revision of some its separate sections and statements, the additions and amendments introduced, as well as our proposals for the revision of the International Standard ISO 8930:2021 ed. 2 «General principles on reliability for structures— Vocabulary» and their implementation in the preparation of a new version of the document are presented.

**Key words:** reliability, building construction, terms and their definitions, Interstate standard, International Standard, International Organization for Standardization (ISO), load, action, accidental actions, accidental design situation, scientific and technical support.

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.46.59

И.И. ВЕДЯКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., проф., М.И. ГУКОВА<sup>1</sup>, к.т.н., М.И. ФАРФЕЛЬ<sup>1,2</sup>, к.т.н., доцент ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г.Москва <sup>2</sup>НИУ МГСУ, г.Москва; e-mail: vedykov@gmail.com**ИЗМЕНЕНИЯ № 3 К НОРМАМ НА РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (СП 16.13330.2017)...46**

В статье описаны внесенные Изменения № 3 в СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» в помощь проектировщикам и в ответ на поступившие к разработчикам в 2020 году вопросы. В состав Изменений № 3 вошли 11 разделов и Приложения В, Г и Ж, в разделе 2 «Нормативные ссылки» учтены вступившие в действие Изменения в своды правил, упоминаемых в СП 16. Наиболее значимыми являются изменения, внесенные в раздел 15 к требованиям по проектированию конструкций зданий и сооружений, включающие требования к установке связей на покрытиях зданий из стальных конструкций. В Приложения по материалам строительных конструкций внесены уточнения в части использования новых сталей, уточнены требования по нормированию ударной вязкости, а также расшифрованы параметры обобщенной расчетной диаграммы работы стали.

**Ключевые слова:** сталь, стальная конструкция, несущая способность, жесткость, ферма, ригель, болт, горизонтальная связь, прокат, труба, ударная вязкость.

UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.46.59. **AMENDMENTS NO. 3 TO THE STANDARDS FOR THE CALCULATION AND DESIGN OF STEEL STRUCTURES.** (SP 16.13330.2017) I.I. Vedyakov<sup>1</sup>, M.I. Gukova<sup>1</sup>, M.I. Farfel<sup>1,2</sup>, <sup>1</sup>TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC “Construction”), Moscow, <sup>2</sup>Department of Metal and Wooden Structures of the NRU MGSU, Moscow; e-mail: vedykov@gmail.com

**Abstract.** The Amendments No. 3 to the Joint Venture 16.13330.2017 “Steel structures” are given to help designers and in response to questions received by developers in 2020. Amendments No. 3 included 11 sections and Appendices «B», «G» and «J». At the same time, section 2 “Regulatory references” takes into account the Changes that have come into effect to the sets of rules referred to in SP 16. The most significant are the changes made to section 15 to the requirements for the design of structures of buildings and structures, including requirements for the installation of ties on the coatings of buildings made of steel structures. In the Appendices on the materials of building structures, clarifications have been made regarding the use of new steels, the requirements for the normalization of impact strength have been clarified, and the parameters of the generalized design diagram of steel work have been deciphered.

**Key word:** steel, steel structure, bearing capacity, stiffness, truss, crossbar, bolt, horizontal connection, rolled steel, pipe, toughness.

УДК 69.07, 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.60.70

И.И. ВЕДЯКОВ, д.т.н., проф., Д.В. КОНИН, к.т.н., А.А. ЕГОРОВА, к.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»); e-mail: vedykov@gmail.com

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПОВОКОВ В ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ...60**

Рассмотрены проблемы применения стальных поковок, шарниров в строительных конструкциях. Описаны особенности работы таких изделий в строительной конструкции. Представлены и проанализированы результаты испытаний. Даны конкретные требования к механическим свойствам материала, химическому составу и методам испытаний. Проведена оценка влияния термоупрочнения на поковки больших диаметров и рассмотрена и проанализирована микроструктура при разных температурных режимах закалка – отпуск.

**Ключевые слова:** поковки больших сечений, термоупрочнение, ударная вязкость, структура стали, однородность свойств по сечению, эксплуатационная надежность.  
UDC 69.07, 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.60.70. **FEATURES OF APPLICATION OF STEEL FORGINGS IN SUPPORT STRUCTURES.** I.I. Vedyakov, D.V. Konin, A.A. Egorova, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC “Construction”), Moscow; e-mail: vedykov@gmail.com

**Abstract.** The problems of using steel forgings, hinges in building structures are considered. The features of the work of such products in the building structure are described. The test results are presented and analyzed. Specific requirements for the mechanical properties of the material, chemical composition and test methods are given. The influence of thermal hardening on forgings of large diameters was assessed and the microstructure was considered and analyzed at different temperature regimes of hardening – tempering.

**Key words:** forgings of large sections, heat strengthening, impact strength, steel structure, uniformity of properties over the section, operational reliability.

УДК 694.141.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.71.78

П.Н. СМЕРНОВ, к.т.н. ЦНИИСК им В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»); e-mail: spair23@list.ru

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЫКА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА КЛЕЕВИНТОВЫХ СТЕРЖНЯХ...71

В статье приведены результаты исследований стыка деревянных конструкций на клеевинтовых стержнях. В первой части статьи приводятся особенности устройства соединений на клеевинтовых стержнях и их преимущество в сравнении с соединениями на арматурных вклеенных стержнях. Далее приводится конструкция и методика расчета стыка, воспринимающего изгибающий момент с клеевинтовыми стержнями, работающими на выдергивание в растянутой зоне. Во второй части статьи представлены результаты экспериментальных исследований жесткости, прочности, деформативности и напряженно-деформированного состояния стыка. Полученные экспериментальные данные модуля упругости состыкованной в середине пролета балочной конструкции позволили сделать вывод о достаточной жесткости стыка на клеевинтовых стержнях. Сравнение результатов расчетов стыка с результатами экспериментальных исследований показало высокую сходимость результатов расчетного метода с экспериментальными данными. Результаты исследований напряженно-деформированного состояния подтвердили расчетные предположения о равномерности распределения напряжений в соединении на клеевинтовых стержнях. Разработанная методика расчета и результаты проведенных экспериментальных исследований будут способствовать широкому внедрению нового типа стыка на клеевинтовых стержнях при проектировании и строительстве зданий и сооружений из деревянных конструкций.

**Ключевые слова:** деревянные конструкции, стык конструкций по длине, соединение на клеевинтовых стержнях, стержень с метрической резьбой, модифицирование древесины клеем.  
UDC 694.141.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.2.71.78. CALCULATION METHOD AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE JOINT OF WOODEN STRUCTURES ON GLUE-SCREW RODS. P.N. Smirnov, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: spair23@list.ru

**Abstract:** the article presents the results of studies of the butt joint of wooden structures on glue-screw rods. In the first part of the article, the features of the device of connections on glue-screw rods and their advantage in comparison with connections on reinforcement glued rods are given. The following is the design and calculation method of a butt joint that perceives the bending moment with glue-screw rods working for pulling out in a stretched zone. The second part of the article presents the results of experimental studies of stiffness, strength, deformability and stress-strain state of the butt joint. The obtained experimental data of the elastic modulus of the docked beam structure allowed us to conclude that the joint on the glue-screw rods is sufficiently rigid. Comparison of the results of butt joint calculations with the results of experimental studies showed a high convergence of the results of the calculation method with experimental data. The results of studies of the stress-strain state confirmed the calculated assumptions about the uniformity of the stress distribution between the rods in the joint. The developed calculation method and the results of the tests will contribute to the widespread introduction of a new type of nodal butt joint on glue-screw rods in the design and construction of buildings and structures made of wooden structures. Key words: wooden structures, laminated veneer lumber, fire tests, fire resistance limit, charring, standard fire temperature.

**Key words:** wooden structures, joint of structures along the length, joint on glue-screw rods, rod with metric thread, modification of wood with glue.

№ 3 за 2022 год

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 624.21.01/09 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.2.8

И.Ю. БЕЛУЦКИЙ, д.т.н., И.В. ЛАЗАРЕВ, к.т.н. Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск; e-mail: mosttogu@mail.ru

### ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ ПЛИТЫ ПРОЕЗДА СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ...2

В публикации показана значимость продольной арматуры в части обеспечения трещиностойкости поперечных сечений плиты проезда в железобетонных плитах проезжей части сталежелезобетонных мостов. Представлена расчетная модель, позволяющая определить усилия в плите проезда и алгоритм для определения усилий в поперечных сечениях плиты.

**Ключевые слова:** плита проезда сталежелезобетонного моста, поперечные сечения плиты, трещиностойкость.

UDC 624.21.01/09 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.2.8. CRACK RESISTANCE AND LOAD-BEARING CAPACITY CROSS SECTIONS CARRIAGEWAY COMPOSITE REINFORCED CONCRETE SUPERSTRUCTURES BRIDGE. I.Yu. Belutsky, I.V. Lazarev, Pacific National University, Khabarovsk; e-mail: mosttogu@mail.ru

**Abstract:** The publication shows the importance of longitudinal reinforcement in terms of ensuring the crack resistance of the cross sections of the passage slab in reinforced concrete slabs of the roadway of composite reinforced concrete Superstructures Bridge. A calculation model is presented that allows determining the forces in the passage slab and an algorithm for determining the forces in the cross sections of the slab.

**Key words:** Carriageway composite reinforced concrete superstructures bridge, cross sections carriageway, fracture toughness.

УДК 624.35 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.9.13

М.Н. КИРСАНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф. Национальный исследовательский университет «МЭИ», e-mail: c216@ya.ru

### ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОГИБА ПЛОСКОЙ РАСПОРНОЙ ФЕРМЫ МОСТА С ПРОИЗВОЛЬНОМ ЧИСЛОМ ПАНЕЛЕЙ...9

Выводится аналитическое решение задачи о прогибе плоской модели фермы моста с двумя неподвижными шарнирными опорами. Находятся формулы зависимости прогиба, реакций опор и усилий в характерных стержнях от числа панелей в конструкции. Используются операторы компьютерной математики Maple. Прогиб определяется по формуле Максвелла-Мора. Серия отдельных решений, полученных для ферм с последовательно увеличивающимся числом панелей, обобщается на произвольное число панелей. Получена картина распределения усилий по стержням фермы. Показано, что смена знаков усилий в поясах фермы не зависит от ее геометрических параметров, а зависит только от числа панелей.

**Ключевые слова:** ферма, распор, прогиб, Maple, индукция, число панелей, асимптотика.

UDC 624.35 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.9.13. FORMULA FOR CALCULATION OF THE DEFLECTION OF A FLAT STRUT BRIDGE WITH AN ARBITRARY NUMBER OF PANELS. M.N. Kirsanov, National Research University "MPEI"; e-mail: c216@ya.ru

The problem of finding an analytical solution to the problem of deflection of a planar model of a bridge truss with two fixed hinged supports is posed. Formulas are derived for the dependence of deflection, reactions of supports and forces in characteristic rods on the number of panels in the structure. Maple computer mathematics operators are used. The deflection is sought by the Maxwell-Mohr formula. A series of individual solutions obtained for trusses with a successively increasing number of panels are generalized to an arbitrary number of panels. A picture of the distribution of forces on the truss rods is obtained. It is shown that the change of force signs in the truss chords does not depend on its geometrical parameters, but depends only on the number of panels.

**Key words:** truss, thrust, deflection, Maple, induction, number of panels, asymptotics.

УДК 624.072.21 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.14.17

В.А. КОМАРОВ, проф., к.т.н., Д.В. ЕРКИН, аспирант Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: komarov58reg@yandex.ru

### СТЕРЖНЕВЫЕ МОДЕЛИ СРЕЗА СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ПОЛОС КОНСОЛЬНЫХ ОПОР РИГЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСОВ...14

Предложены стержневые модели оценки прочности сжатых бетонных полос при действии среза коротких консолей ригелей между опорными и «условными» грузовыми площадками на основе моделирования их физической работы. В основу совершенствования метода расчета принят единый принцип построения стержневых моделей сжатых бетонных полос коротких элементов – метод копирования траекторий силовых трещин и схем разрушения. Совершенствование метода расчета осуществлялось на основе развития выше рассмотренной методики определения прочности бетонных полос при действии сжатия вдоль наклонной полосы и действия среза между границами грузовых и опорных площадок внутри сжатой полосы. В процессе совершенствования практических рекомендаций по расчету использованы закономерности модификации стержневых моделей при действии сжатия и среза в зависимости от изменения основных факторов. Все предложения по расчету доведены до уровня практического применения и имеют обоснование экспериментом.

**Ключевые слова:** короткая консоль ригеля, «условные» грузовые опоры, сжатая бетонная полоса, стержневая модель среза, предельное состояние.

UDC 624.072.21 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.14.17. RODE MODELS OF THE CUT OF COMPRESSED CONCRETE STRIPS OF THE CANTILEVER SUPPORTS OF THE BEAMS OF MULTI-STORY FRAMEWORKS. V.A. Komarov, D.V. Yerkin, Penza State University of Architecture and Construction; e-mail: komarov58reg@yandex.ru

Abstract. Rod models for assessing the strength of compressed concrete strips under the action of a cut of short cantilevers of crossbars between the supporting and "conditional" cargo platforms are proposed based on modeling their physical work. The basis for improving the calculation method is a single principle for constructing rod models of compressed concrete strips of short elements – there is the method of copying the trajectories of force cracks and fracture patterns. The improvement of the calculation method was carried out on the basis of the development of the above-considered method for determining the strength of concrete strips under the action of compression along an inclined strip and the action of a cut between the faces of the cargo and support platforms inside the compressed strip. In the process of improving practical recommendations for the calculation, the patterns of modification of rod models under the action of compression and shear were used, depending on the change in the main factors. All proposals for the calculation are brought to the level of practical application and are substantiated by experiment.

**Key words:** short crossbar console, «nominal» cargo supports, compressed concrete strip, bar cut model, limit state.

УДК 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.18.27

Е.Б. КОРЕНЕВА<sup>1</sup>, д.т.н., проф., В.Р. ГРОСМАН<sup>2</sup>, инж. <sup>1</sup>Московское высшее общевойсковое командное орденов Жукова, Ленина и Октябрьской Революции Краснознаменное училище, <sup>2</sup>АВТ – филиал РУТ; e-mail: elena.koreneva2010@yandex.ru

### КОМБИНИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ КУСОЧНО-ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ НА НИХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ НАГРУЗОК...18

В работе предлагается аналитическая методика расчета пластин, имеющих в плане круговую форму и состоящих из примыкающих друг к другу отдельных участков. Изучаемые конструкции находятся под действием антисимметричных нагрузок. Каждый из участков изучаемой конструкции представляет собой отдельную кольцевую пластину. Эти отдельные кольцевые пластины обладают различными законами изменения толщины и могут состоять из одного и того же или из различных материалов, которые могут быть анизотропными и изотропными, однородными и неоднородными. В местах сопряжения отдельных колец толщина конструкции может быть как непрерывной, так и имеющей разрывы непрерывности. При расчете рассматриваемых конструкций на действие антисимметричных нагрузок применяется, в частности, теория специальных функций. В работе получены решения, выраженные в функциях Лежандра, в классических ортогональных многочленах Лежандра, Гегенбауэра, Лагерра. Учитываются условия сопряжения отдельных участков.

**Ключевые слова:** комбинированные конструкции, кусочно-переменная толщина, антисимметричные нагрузки, специальные функции.

UDC 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.18.27. COMBINED CONSTRUCTIONS WITH PIECE-WISE THICKNESS SUBJECTED TO AN ACTION OF UNSYMMETRIC LOADS. E.B. Koreneva<sup>1</sup>, V.R. Grosman<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Moscow State Higher Combined-Arms Academy, <sup>2</sup>Academy of Water Transport; e-mail: elena.koreneva2010@yandex.ru.

Abstract. The analytical method for computation of circular thin combined plates with piecewise thickness subjected to an action of antisymmetric loads is proposed. The construction under study consists of several ring plates of variable thickness closely adjoining to each other. The laws of thickness variation of separate sections are different. The separate sections may be made from the same or from the different materials. These materials can be orthotropic or isotropic, inhomogeneous or homogeneous. In the places of separate parts conjugation the construction's thickness may be continuous or discontinuous. For the analysis of antisymmetric flexure of the constructions under examination the theory of special functions is used. The solutions are obtained in closed form in terms of Legendre functions, Gegenbauer, Legendre and Lagerre polynomials. The conditions of separate parts conjugation are fulfilled. For this aim the special auxiliary functions are introduced.

**Key words:** combined constructions, piece-wise thickness, antisymmetric loads, special functions.

[Расчеты на надежность](#)

[Reliability calculation](#)

УДК 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.28.34

С.А. СОЛОВЬЕВ, к.т.н., доцент, А.Э. ИНЬКОВ, аспирант, А.А. СОЛОВЬЕВА, аспирант Вологодский государственный университет; e-mail: solovevsa@vogu35.ru  
МЕТОД РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН...28

В статье рассмотрен метод расчета надежности шарнирно-стержневых систем с узловой нагрузкой при интервальной оценке границ изменчивости случайных величин. В практических задачах расчета и анализа надежности элементов строительных конструкций зачастую не удается получить полную статистическую информацию, которая необходима для вероятностно-статистического подхода в соответствии с ГОСТ 27751-2014. Использование альтернативных теорий анализа данных позволяет получить достоверную оценку надежности при неполной статистической информации без введения неподтвержденных гипотез о виде и форме распределения вероятностей случайных величин. В данной работе предлагается использовать данные о границах изменчивости случайных величин (интервальный анализ) для расчета надежности шарнирно-стержневых систем. Сравнительный анализ надежности фермы при расчете по двум подходам (классический вероятностно-статистический и предложенный интервальный) показывает, что при интервальном подходе значение вероятности безотказной работы фермы получается ниже, чем при вероятностно-статистическом. Это связано с тем, что при интервальной оценке учитываются другие возможные распределения внутри заданного интервала, отличающиеся от нормального распределения вероятностей. В случае, когда невозможно достоверно установить вид распределения вероятностей, но известны границы изменчивости для случайных величин, использование представленного метода является более осторожным и достоверным подходом к оценке безопасности эксплуатации фермы.

**Ключевые слова:** надежность, интервальная оценка, устойчивость, ферма, вероятность безотказной работы, неопределенность, случайная нагрузка, теория выпуклых множеств.  
UDC 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.28.34. A METHOD FOR STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF TRUSSES WITH INTERVAL UNCERTAINTY OF RANDOM VARIABLES. A.A. Soloveva, A.E. Inkov, S.A. Solovlev, Vologda State University; e-mail: solovevsa@vogu35.ru

Abstract. The article describes a method for the reliability analysis of hinge-rod systems (trusses) with an interval estimation of the variability limits of random variables. In practical tasks of structural reliability analysis, it is often not possible to obtain complete statistical data that is necessary for a probabilistic and statistical approach in accordance with GOST 27751-2014. The use of alternative theories of data analysis makes it possible to obtain a definite assessment of reliability with incomplete statistical data without introducing unconfirmed hypotheses about the form and shape of probability distribution functions of random variables. In this paper, it is proposed to use data on the limits of variability of random variables (an interval analysis) to assess the reliability of hinge-rod systems on the truss example. A comparative analysis of the truss reliability is given by two approaches (the classical probabilistic-statistical and the proposed interval approach). By the interval approach, the reliability of the truss is lower due to the fact that the interval estimation takes into account other possible distributions within a given interval that differ from the normal probability distribution. In the case when it is impossible to determine the type of probability distribution, but the limits of variability for random variables are known, the use of the presented method is a more cautious for the safety of truss operation.

**Key words:** reliability, interval estimation, buckling, truss, failure probability, uncertainty, random load, convex set theory.

[Расчеты на устойчивость](#)

[Stability calculation](#)

УДК 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.35.41

А.С. КОРНИЛОВА<sup>1</sup>, преподаватель, Е.Е. ПАРАМОНОВ<sup>2</sup>, науч. сотр. ЧИУ МГСУ, г. Москва, <sup>2</sup>6 ЦНИИ – филиал АО «31 ГПИСС», г. Балашиха; e-mail: zkstasy@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКЦИЙ...35

Динамические нагрузки от технологического оборудования периодического действия определяют для двух режимов работы (рабочего и пускоостановочного) и рассматривают как совокупность сил, передающихся на поддерживающую конструкцию. Известно, что при пуске-остановке машины, развивающей гармоническую нагрузку, на поддерживающую конструкцию может передаваться увеличенная по сравнению с рабочим режимом нагрузка. Требования современных нормативных документов устанавливают предельно допустимые значения амплитуды колебаний конструкций, поэтому важно более детально рассмотреть вопрос расчета конструкций с учетом переходных режимов оборудования. В статье представлены результаты динамических расчетов плит перекрытий на нагрузки, возбуждаемые оборудованием в рабочем и переходных режимах. Особое внимание уделено вопросу влияния времени пуска и остановки машины на амплитуду колебаний конструкций в переходных режимах. Основная цель исследования – определение величины резонансного увеличения амплитуд колебаний по сравнению с колебаниями в рабочем режиме, а также анализ влияния времени пуска и остановки оборудования на резонансную амплитуду. Выводы содержат практически полезные рекомендации для проектировщиков в вопросе выбора оптимальных параметров плит и устанавливаемого на них оборудования, при которых отрицательное влияние данного явления наименее выражено.

**Ключевые слова:** оборудование с динамическими нагрузками, переходной режим работы оборудования, переход через резонанс, динамический расчет конструкций.  
UDC 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.35.41. INFLUENCE OF TRANSIENT OPERATION MODES OF EQUIPMENT ON THE STRESS-STRAIN STATE OF STRUCTURES. A.S. Kornilova<sup>1</sup>, E.E. Paramonov<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, MISIMGSU, NRUMGSU, MGSU, <sup>2</sup>6 Central Research Institute – branch of JSC “31 GPISS”, Balashikha; e-mail: zkstasy@gmail.com

Abstract. The article presents the results of the expected calculations of floor slabs for loads excited in operating and transient modes. Particular attention is paid to the issue of the influence of the time of starting and stopping the machine on the amplitude of vibrations of structures in transient conditions. The main purpose of the study is to determine the magnitude of the resonant increase in the oscillation amplitudes compared to oscillations in the operating mode, as well as to analyze the effect of the equipment start and stop time on the resonant amplitude.

**Key words:** equipment with dynamic loads, transient operation of equipment, transition through resonance, dynamic structural analysis.

УДК 624.046 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.42.48

В.Л. МОНДРУС, д.т.н., проф., член-корр. РААСН, Л.Ю. СТУПИШИН, к.т.н., проф. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; e-mail: MondrusVL@mgsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ КРИТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ...42

В статье проводится анализ устойчивости систем с сосредоточенными параметрами с позиций критерия критических уровней энергии. До сих пор нет единого мнения как о причинах проявления потери устойчивости формы деформирования в строительных конструкциях, так и о формулировании критериев, определяющих критическое состояние. Наиболее часто в строительной механике и теории устойчивости сооружений используются энергетические критерии в форме Тимошенко и Брайана. Несмотря на простоту формулировки первого критерия и общность второго, сложно утверждать, что ими может быть охвачен весь спектр задач устойчивости, возникающих в технике. Критерий критических уровней энергии позволяет ставить и решать задачи устойчивости без ограничений малости перемещений, вида воздействий на систему, и предназначен для формулирования пограничных состояний. Для понимания сути упомянутых критериев и иллюстрации различий предлагаются простые задачи в виде систем с сосредоточенными параметрами с несколькими степенями свободы. Методика исследования конструкции иллюстрируется на примере модели системы с сосредоточенными параметрами в виде упругих шарниров. Приводятся энергетические соотношения, описывающие состояние системы на критических уровнях энергии. Полученные результаты для критических внутренних усилий совпадают с известными из литературы величинами внешних критических нагрузок, что подтверждает известный из теории задач на собственные значения факт совпадения точек ветвления решения в линейной и нелинейной постановке. Показана методика определения величин углов отклонений элементов системы в упругих шарнирах. Приведено сравнение углов поворота элементов системы при постановке задачи в линейной (бесконечно малые углы отклонения) и нелинейной постановке.

**Ключевые слова:** устойчивость, упругие деформации, сосредоточенные параметры, критические силы, критические уровни энергии.  
UDC 624.046 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.42.48. INVESTIGATION OF THE STABILITY OF SYSTEMS WITH LUMPED PARAMETERS BASED ON CRITICAL ENERGY LEVEL CRITERION. V.L. Mondrus, L.Yu. Stupishin, National Research Moscow State University of Civil Engineering; e-mail: MondrusVL@mgsu.ru

Abstract. The article analyses the stability of systems with lumped parameters from the standpoint of the criterion of critical energy levels. Until now, there is no consensus both on the reasons for the manifestation of the buckling of the deformation form in building structures, and on the formulation of criteria that determine the critical state. Most often in structural mechanics and the theory of stability of structures, energy criteria are used in the form of Timoshenko and Brian. Despite the simplicity of the formulation of the first criterion and the generality of the second, it is difficult to assert that they can cover the entire spectrum of stability problems that arise in technology. The criterion of critical energy levels allows one to set and solve stability problems without restrictions on the smallness of displacements, the type of impact on the system, and is intended for formulating boundary states. To understand the essence of the mentioned criteria and to illustrate the differences, simple problems are proposed in the form of systems with lumped parameters with several degrees of freedom. The design research technique is illustrated by the example of a system model with lumped parameters in the form of elastic hinges. Energy relations are given that describe the state of the system at critical energy levels. The results obtained for critical internal forces coincide with the values of external critical loads known from the literature, which confirms the well-known fact of the theory of eigenvalue problems that the branch points of the solution coincide in linear and nonlinear formulations. A technique for determining the values of the deviation angles of the system elements in elastic hinges is shown. A comparison is made of the rotation angles of the system elements in the formulation of the problem in a linear (infinitely small deviation angles) and non-linear formulation.

**Key words:** stability, elastic deformations, lumped parameters, critical forces, critical energy levels.

УДК 624.044 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.49.54

С.В. ОСЫКОВ, аспирант, А.В. ТРОФИМОВ, доцент, к.т.н. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: osykovvv@gmail.com  
ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ КОНТАКТНОГО СЛОЯ НА ЖЕСТКОСТЬ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ...49

В работе представлено аналитическое выражение для определения параметра сцепления в сталежелезобетонных изгибаемых элементах. Выполнено сравнение аналитических значений прогибов с экспериментальными. Результаты показывают, что неучет податливости контактного слоя в актуальных нормативных документах не дает корректно оценить деформативность составных конструкций. Предложено выражение может быть использовано для определения жесткости составных элементов, имеющих свободный сдвиг на торцах.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонная балка, контактный слой, сдвиг, теория составных стержней, аналитическая модель, деформации.  
UDC 624.044 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.49.54. INFLUENCE OF INTERFACIAL INTERACTION TO THE STIFFNESS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITES UNDER BENDING MOMENTS. S.V. Osykov, A.V. Trofimov, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: osykovvv@gmail.com

Abstract. This paper presents an analytical expression for determining the friction capacity parameter in steel-concrete composites under bending moments. The analytical values of the deflections are compared with the values obtained experimentally. The results show that neglecting the interfacial effect in current standards and guidelines leads to incorrect assessment of structural deformability. The proposed analytical model can be used to determine the stiffness of steel-concrete composite slabs simply supported at both ends.

**Key words:** steel-concrete composite beam, interfacial interaction, slip, theory of built-up bars, analytical model, deformations.

УДК 624.072.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.55.60

А.И. ПРИТКИН, д.т.н. Калининградский государственный технический университет; e-mail: prit\_alex@mail.ru

### КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ БАЛОК СО СПЛОШНОЙ И ПЕРФОРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ...55

Рассмотрено влияние перфорации на потерю устойчивости плоской формы изгиба балок двутаврового сечения в упругой стадии нагружения с помощью метода конечных элементов, позволяющего проанализировать критические нагрузки перфорированных балок и балок со сплошной стенкой. Расчеты выполнены для балок с шарнирным опиранием при равномерно распределенной нагрузке, действии сосредоточенной силы посредине пролета и действии двух и трех симметрично приложенных сил. Численные расчеты балок проводились с помощью программного комплекса ANSYS по специально разработанной программе. У перфорированных балок при одинаковой относительной высоте вырезов варьировались только их форма и шаг вырезов. Проведенное сопоставление результатов с имеющимися в литературе аналитическими зависимостями для балок со сплошной стенкой позволяет утверждать об удовлетворительной их точности.

**Ключевые слова:** критическая нагрузка, однопролетные балки, общая устойчивость, перфорированные балки, круглые и шестиугольные вырезы, аналитический расчет, МКЭ.

UDC 624.072.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.55.60. FINITE-ELEMENT ANALYSIS OF LATERAL-TORSIONAL BUCKLING OF BEAMS WITH PLANE AND CASTELLATED

WEB. A.I. Pritikin, Kaliningrad State Technical University; e-mail: prit\_alex@mail.ru

Abstract. Influence of perforation on the lateral-torsional buckling of I-beams with plane and castellated web in elastic stage of loading was considered with help of the finite element method, which allow to analyze critical loads of castellated beams and beams with plane web. Calculations were performed for simply supported beams under uniformly distributed load and concentrated forces, applied symmetrically at different distances from supports. Numerical calculations were carried out with help of program complex ANSYS on specially elaborated program. For castellated beams under constant relative depth of openings there were varied such parameters as shape and step of openings. Performed comparison of results with existing in literature analytical calculations of beams with plane web allow to confirm accuracy of existing formulas.

**Key words:** critical load, single span beams, lateral-torsional buckling, castellated beams, circular and hexagonal openings, analytical analysis, FEM.

[Нелинейные расчеты](#)

[Nonlinear calculations](#)

УДК 539.3+517.956.6 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.61.70

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СТАТИКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ И ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ...61

Рассматривается обобщенная плоская деформация физически и геометрически нелинейной сплошной среды. Математическая модель среды описывается физически нелинейными соотношениями в форме произвольных перекрестных зависимостей между первыми инвариантами тензоров и вторыми инвариантами девиаторов напряжений и деформацией с учетом геометрической нелинейности (в смысле В.В. Новожилова). Система разрешающих дифференциальных уравнений равновесия в частных производных, записываемая в перемещениях, является квазилинейной. Исследуется ее тип. Несмотря на то, что тип системы квазилинейных дифференциальных уравнений в частных производных в некоторой области пространства может быть определен лишь для конкретного решения, показано, что система дифференциальных уравнений равновесия обобщенной плоской деформации является системой смешанного типа. Тип рассматриваемой системы дифференциальных уравнений в частных производных в заданной области пространства полностью определяется значениями ее коэффициентов, а значит, зависит как от значения физических констант материала сплошной среды, так и от значения производных от перемещений по пространственным координатам.

**Ключевые слова:** сплошная среда, обобщенная плоская деформация, физическая и геометрическая нелинейность, дифференциальные уравнения равновесия, тип системы дифференциальных уравнений.

UDC 539.3+517.956.6 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.61.70. SOME ISSUES ON STATICS OF GEOMETRICALLY AND PHYSICALLY NONLINEAR CONTINUOUS MEDIUM.S.V.

Bakushev, The Penza State University of Architecture and Construction; e-mail: bakuchsv@mail.ru

Abstract. We consider the generalized plane deformation of physically and geometrically nonlinear continuous medium. The mathematical model of medium is described by physically nonlinear relations in the form of arbitrary cross dependences between the first invariants of tensors and the second invariants of stress and strain deviators, taking into account geometrical nonlinearity (according to V.V. Novozhilov). The system of resolving partial differential equations of equilibrium, done in displacements, is quasilinear. This type is being investigated. Despite the fact that the type of the system of quasilinear partial differential equations in a certain part of space can be determined only for a specific solution, it is stated that in the general case the system of differential equations of equilibrium of generalized plane deformation is a system of mixed type. The type of the system of partial differential equations in a given area of space is completely determined by the values of its coefficients, and therefore depends both on the value of physical constants of continuous medium material and also on the value of derivatives of displacements in spatial coordinates.

**Key words:** continuous medium, generalized plane deformation, physical and geometrical nonlinearity, differential equations of equilibrium, differential equations system type.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designe](#)

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.71.78

А.С. МАРУТЯН, канд. техн. наук, доц. Пятигорский институт Северо-Кавказского федерального университета; e-mail: al\_marut@mail.ru

### ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕТОК ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ (ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ)...71

Представлен новый способ изготовления решеток с бесфасоночными узлами для ферменных конструкций из профильных труб (гнуто сварных профилей), апробированный на их треугольных и раскосных системах, включая плоские и перекрестные модификации. Показана его эффективность и рациональность в узлах, где поясные элементы из квадратных труб отличаются ромбическим расположением относительно плоскости конструкции, которые более предпочтительно заменить треугольными и пятиугольными профилями. Универсальность способа изготовления обеспечивает его востребованность в конструкциях из трубчатых и прокатных профилей, сохраняет принятую компоновку стандартизированных ферм с бесфасоночными узлами и фланцевыми соединениями. Приведена закономерность по оптимизационному расчету унификационных зон применительно к стержневым элементам решеток с определением их конструктивных коэффициентов. Выполнен сравнительный расчет конструктивных коэффициентов и осредненных коэффициентов использования стержневых элементов решетки из квадратных и прямоугольных профилей на примере их реализации в одной и той же полуферме (отправочной марке), когда количество унификационных зон совпадает. Выявлено заметное сокращение конструкционного материала (стали) и снижение строительной высоты ферменной конструкции. Подтверждена приемлемая корректность приближенной методики расчета для ее применения в решениях оптимизационных и вариантных задач, а также на разных стадиях проектирования несущих конструкций.

**Ключевые слова:** легкие металлоконструкции, расчет оптимальных параметров, бесфасоночные узлы, профильные трубы, гнуто сварные профили, ферменные системы, решетчатые конструкции.

UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.3.71.78. OPTIMIZATION OF TRUSS LATTICES FROM PROFILE PIPES (BENT-WELDED PROFILES).A.S. Marutyann, Pyatigorsk

Institute of the North Caucasus Federal University; e-mail: al\_marut@mail.ru

Abstract. The article presents a new method of manufacturing lattices with faceless assemblies for truss structures made of profile pipes (bent-welded profiles), tested on their triangular and diagonal systems including flat and cross modifications. Its efficiency and rationality are shown in nodes where the belt elements of square pipes differ in a rhombic arrangement relative to the plane of the structure, which are more preferably replaced by triangular and pentagonal profiles. The versatility of the manufacturing method ensures its relevance in structures made of tubular and rolled profiles, preserves the accepted layout of standardized trusses with faceless assemblies and flange connections. The regularity of the optimization calculation of the unification zones in relation to the core elements of the lattices with the determination of their design coefficients is given. A comparative calculation of the design coefficients and the averaged coefficients of the use of the core elements of the grid of square and rectangular profiles is carried out on the example of their implementation in the same semi-truss, when the number of unification zones coincides. The noticeable reduction in the structural material (steel) and the lowering of the construction height of the truss structure were revealed. The acceptable correctness of the approximate calculation method for its application in solving optimization and variant problems, as well as at different stages of the design of load-bearing structures, is confirmed.

**Key words:** light-weight metal structures, calculation of optimal parameters, faceless assemblies, profile pipes, bent-welded profiles, truss systems, lattice structures.

№ 4 за 2022 год

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 624.016 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.2.7

П.А. АЛЕКСЕЕВ, магистрант, А.В. ТРОФИМОВ, к.т.н., доцент Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет; e-mail: zzero0085@gmail.com

### РАСЧЕТ КИРПИЧНЫХ СВОДЧАТЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ БАЛКАМ МЕТОДОМ «СЕКТОРА ТОЛСТОСТЕННОГО КОЛЬЦА»...2

На сегодняшний день сводчатые кирпичные перекрытия по металлическим балкам не проектируются, но большинство существующих зданий с таким типом перекрытий нуждаются в реконструкции. Проектировщики сталкиваются с проблемой отсутствия нормативного метода расчета сводчатых перекрытий, который учитывал бы совместную работу балок со сводчатым заполнением. В связи с этим для определения категории технического состояния перекрытий поверочный расчет ведется для шарнирно опертой металлической балки с приложенной равномерно распределенной нагрузкой, что занижает значение несущей способности перекрытия. В соответствии с результатами неправильного поверочного расчета для сводчатых перекрытий по металлическим балкам понижается категория технического состояния, что приводит к неоправданному усилению перекрытия или его демонтажу. В рамках данной статьи был разработан метод расчета, который учитывает совместную работу элементов конструкции.

**Ключевые слова:** метод «сектора толстостенного кольца», перекрытие по металлическим балкам, сводчатое заполнение, прогиб балки, совместная работа, момент инерции.

UDC 624.016 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.2.7. CALCULATION VAULTED FLOORS OF BRICK ON METAL BEAMS «SECTORS OF THE THICK-WALLED RING» METHOD.

P.A. Alekseev, A.V. Trofimov, St.Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: zzero0085@gmail.com

Abstract. Currently beam vaulted floors of brick are not designed, but most of the existing buildings with this type of ceiling need to be reconstructed. Designers are faced with the problem of the lack of a normative method for calculating vaulted ceilings, which would take into account the composite action of beams with vaulted filling. In this regard, in order to determine the category of the technical condition of the ceilings, the checking calculation is made for a hinged metal beam with uniformly distributed load, which underrates the bearing capacity of the floor. In accordance with the results of an incorrect checking calculation for vaulted ceilings with metal beams, the technical condition category is reduced, which leads to unjustified strengthening of the ceiling or its dismantling. In this article, we developed the calculation method that takes into account the composite action of structural elements.

**Key words:** method «sectors of the thick-walled ring», metal beam floor, vaults, beam deflection, composite action, moment of inertia.

УДК 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.8.23

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru

### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ В ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ И ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ ДЛЯ РАЗРЫВНЫХ ЗАМЫКАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ В ДЕКАРТОВОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ...8

Для трехмерной физически и геометрически нелинейной теории упругости рассматривается построение коэффициентов дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях. Дифференциальные уравнения равновесия записаны в прямоугольной декартовой системе координат. Замыкающие уравнения – переменные модули объемного и сдвигового деформирования – физических соотношений аппроксимируются билинейными функциями. Физические зависимости записаны для четырех возможных законов деформирования сплошной среды в соответствии с билинейными графиками объемного и сдвигового деформирования. Законы деформирования на каждом линейном участке билинейных диаграмм объемного и сдвигового деформирования определяются секущими модулями билинейных графиков диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Анализ показывает, что коэффициенты дифференциальных уравнений равновесия в перемещениях, являющихся дифференциальными уравнениями в частных производных второго порядка от перемещений по пространственным координатам, являются квадратичными функциями первых производных от перемещений по пространственным координатам. Построенные трехмерные дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут найти практическое приложение при расчете конструкций с использованием трехмерных уравнений равновесия физически и геометрически нелинейной теории упругости в перемещениях, замыкающие уравнения физических соотношений для которых аппроксимированы билинейными функциями.

**Ключевые слова:** трехмерная теория упругости, физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях, билинейная аппроксимация замыкающих уравнений.

UDC 519.633 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.8.23. **DISPLACEMENT DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EQUILIBRIUM IN THREE-DIMENSIONAL GEOMETRICALLY AND PHYSICALLY NONLINEAR THEORY OF ELASTICITY FOR DISCONTINUOUS CLOSING EQUATIONS IN THE CARTESIAN COORDINATE SYSTEM.** S.V.Bakushev, Penza State University of Architecture and Construction; e-mail: bakuchsv@mail.ru

Abstract. We consider the construction of coefficients of equilibrium differential equations in displacements for a three-dimensional physically and geometrically nonlinear theory of elasticity. Differential equations of equilibrium are done in a rectangular Cartesian coordinate system. Closing equations are variable modules of volumetric and shear deformation; physical relations are approximated by bilinear functions. Physical dependencies are recorded for four possible rules of continuum deformation in accordance with bilinear graphs of volume and shear deformation. The rules of deformation on each linear section of bilinear diagrams of volumetric and shear deformation are determined by the secant modules of bilinear graphs of volumetric and shear deformation diagrams. The analysis shows that the coefficients of differential equations of equilibrium in displacements, which are second-order partial differential equations of displacements along spatial coordinates, are quadratic functions of the first derivatives of displacements along spatial coordinates. The constructed three-dimensional differential equations of equilibrium in displacements can be applied in the calculation of structures using three-dimensional equilibrium equations of physically and geometrically nonlinear theory of elasticity in displacements, the closing equations of physical relations for which are approximated by bilinear functions.

**Key words:** three-dimensional theory of elasticity, physical nonlinearity, geometrical nonlinearity, differential equations of equilibrium in displacements, bilinear approximation of closing equations.

УДК 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.24.28

С.В. БОСАКОВ<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, О.В. КОЗУНОВА<sup>2</sup>, к.т.н., доцент <sup>1</sup>РУП «Институт БелНИИС», Белорусский национальный технический университет, г.

Минск <sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Белорусский национальный технический университет, г. Минск; e-mail: sevibo@yahoo.com  
**СМЕШАННЫЙ МЕТОД В РАСЧЕТАХ ПЛАСТИНОК СО СЛОЖНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ...24**

В работе представлены новые возможности использования смешанного метода для расчета изгибаемых пластинок со сложными граничными условиями. При составлении разрешающих уравнений достаточно иметь выражение для определения прогибов пластинки с защемленной в начале координат нормалью. Такие решения приводятся в ранее опубликованных работах авторов для пластинок различной формы. На основании этих решений составляются канонические уравнения смешанного метода, где неизвестными метода сил являются усилия в опорных связях, метода перемещений – линейное и угловое перемещение введенного в начале координат защемления. После определения неизвестных метода сил по общепринятым формулам смешанного метода определяются прогибы пластинки, по которым, в свою очередь, – внутренние усилия. Приводятся два примера расчета пластинок в декартовых и полярных координатах. Численная реализация предлагаемой методики и алгоритма упругого расчета изгибаемых пластинок со сложными граничными условиями проводится при использовании компьютерной программы Wolfram Mathematica 11.3.

**Ключевые слова:** смешанный метод, способ Жемочкина, сложные граничные условия, изгибаемая пластинка, усилия в опорных связях.

UDC 624.13 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.24.28. **MIXED METHOD FOR CALCULATIONS OF PLATES WITH COMPLEX BOUNDARY CONDITIONS.** S.V.Bosakov<sup>1</sup>, O.V.Kozunova<sup>2</sup>, <sup>1</sup>RUE "Institute BelNIIS", Belarusian National Technical University, Minsk, <sup>2</sup>Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarusian National Technical University, Minsk; e-mail: sevibo@yahoo.com

Abstract. The paper presents new possibilities of using a mixed method for calculating bendable plates with complex boundary conditions. When composing resolving equations, it is sufficient to have an expression to determine the deflections of a plate with a normal pinched at the origin. Such solutions are given in the authors' previously published works for plates of various shapes. On the basis of these solutions, the canonical equations of the mixed method are compiled, where the unknown forces of the method are the forces in the support links, the displacement method is linear and angular displacement of the pinching introduced at the origin. After determining the unknown forces of the method, according to the generally accepted formulas of the mixed method, the deflections of the plate are determined, according to which, in turn, internal forces are determined. Two examples of calculating plates in Cartesian and polar coordinates are given. Numerical implementation of the proposed methodology and algorithm for elastic calculation of bendable plates with complex boundary conditions is carried out using the Wolfram Mathematica 11.3 computer program.

**Key words:** contact problem, elastic base, Zhemochkin method, plate of complex shape in polar coordinates.

УДК 624.075.23 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.29.35

Т.А. МУХАМЕДИЕВ, д.т.н., С.А. МАЙОРОВ, инженер НИИЖБ им.А.А.Гвоздева (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: takhir50@rambler.ru

### РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ РАБОТЫ СЖАТОЙ КОМПОЗИТНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ АРМАТУРЫ...29

Изложены результаты исследования влияния работы сжатой композитной полимерной арматуры на несущую способность внецентренно сжатых элементов. Даны рекомендации по назначению расчетного сопротивления композитной арматуры осевому сжатию. Предложены зависимости для расчета прочности элементов с учетом работы сжатой композитной арматуры. Приведены результаты проверки надежности предложенной методики расчета прочности внецентренно сжатых элементов экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** строительные конструкции, сжатые элементы, композитная полимерная арматура, прочность, методы расчета.

UDC 624.075.23 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.29.35. **STRENGTH CALCULATION OF ECCENTRICALLY COMPRESSED ELEMENTS TAKING INTO ACCOUNT THE OPERATION OF COMPRESSED FIBER REINFORCED POLYMER BARS.** T.A. Mukhamediev, S.A. Maiorov, A.A.Gvozdev NIIZHB (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: takhir50@rambler.ru

Abstract. The results of study of influence compressed fiber reinforced polymer bars on the capacity of eccentrically compressed elements are presented. The recommendations to assignment of yield strength for compressed fiber reinforced polymer bars are given. The dependence for strength calculation elements taking account the operation of compressed fiber reinforced polymer bars suggest. The results of reliability verification of proposed method for calculating eccentrically compressed elements with experimental data are presented.

**Key words:** building structures, compressed elements, fiber reinforced polymer bars, strength, methods of calculation.

[Нелинейные расчеты](#)

[Nonlinear calculations](#)

УДК 624.046.4 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.36.42

Е.В. ПОПОВ, к.т.н., В.В. СОПИЛОВ, аспирант, Б.В. ЛАБУДИН, д.т.н., А.Е. ЗЕМЦОВСКИЙ, к.т.н., Е.С. ТОЧИЛОВА, студент Северной (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова, г. Архангельск; e-mail: egpv1989@mail.ru

### РАСЧЕТ СОСТАВНЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ РАБОТЫ СВЯЗЕЙ СДВИГА...36

Представлена математическая модель расчета составных элементов с нелинейно-податливыми связями сдвига по деформациям. В основу алгоритма положена теория расчета составных стержней А. Р. Ржаницына, однако жесткость связей сдвига уточняется на каждом шаге для каждой связи в зависимости от величины сдвигающего усилия. Установлено, что учет фактического характера деформирования связей вносит существенную погрешность при оценке деформативности составных балок на механических связях.

**Ключевые слова:** конструктивная древесина, нелинейная работа, составные балки, связи сдвига, жесткость, изгиб, вертикальные перемещения.

UDC 624.046.4 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.36.42. **CALCULATION OF COMPOSITE BENDING WOODEN ELEMENTS BY DEFORMATIONS CONSIDERING THE NONLINEAR WORK OF SHEAR BONDS.** E.V.Popov, V.V.Sopilov, B.V.Labudin, A.E.Zemcovskii, E.S.Tochilova, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk; e-mail: egpv1989@mail.ru

Abstract. The mathematical model for the calculation of component elements with non-linear-flexible shear connections by deformations is presented. The algorithm is based on the theory of calculation of component rods by A. R. Rzhantsyn, however, the rigidity of the shear connections is refined at each step for each connection, depending on shear force. It has been established that neglecting the actual nature of the connections deformation introduces a significant error in the assessment of the deformability of component beams with mechanical connections.

**Key words:** nonlinear behavior, rigidity, vertical displacements, structural wood, shear connections, bending, component beams.

[Расчеты на устойчивость](#)

[Stability calculation](#)

УДК 624.046.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.43.49

Г.А. МАНУЙЛОВ, к.т.н., С.Б. КОСИЦЫН, д.т.н., М.М. БЕГИЧЕВ, к.т.н. Российский университет транспорта, г. Москва; e-mail: noxonius@mail.ru

### О ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ НЕБИФУРКАЦИОННЫХ ЗАДАЧ УСТОЙЧИВОСТИ УПРУГИХ РАМ НА БИФУРКАЦИОННЫЕ...43

При решении задач устойчивости рам часто прибегают к замене распределенной нагрузки, действующей на элемент рамы, на эквивалентную нагрузку в виде сосредоточенных сил, которые приложены в узлах рамы. Это приводит к тому, что изгибное равновесие балки становится безизгибным равновесием растяжения-сжатия. Такой прием вносит некоторые ошибки в вычисленные значения критических нагрузок. Нагрузка потери устойчивости для таких рам может оказаться как больше, так и меньше действительной нагрузки.

**Ключевые слова:** устойчивость, рама, геометрическая нелинейность, метод конечных элементов, бифуркация, предельная точка.

UDC 624.046.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.43.49. **PROBLEMS OF REPLACING NONBIFURCATIONAL STABILITY PROBLEMS OF ELASTIC FRAMES WITH BIFURCATIONAL PROBLEMS.** G.A. Manuylov, S.B. Kositsyn, M.M. Begichev, Russian University of Transport, Moscow; e-mail: noxonius@mail.ru

Abstract. When solving frame stability problems, replacing a distributed load acting on a frame element with an equivalent load in the form of concentrated forces that are applied in the frame nodes is often resorted to. This causes the bending equilibrium of the beam to become a non-bending tension-compression equilibrium. The buckling load for such frames can be either greater or less than the actual load.

**Key words:** stability, frame, geometric nonlinearity, finite element method, bifurcation, limit point.

УДК 624.07.147 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.50.54

А.А. МИНАСЯН, инженер ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), Москва; e-mail: 1747210@mail.ru

### ОБЩАЯ И ЛОКАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ...50

Рассмотрены вопросы общей и локальной устойчивости многоэтажных зданий и высотных сооружений при аварийных (взрывы, землетрясения) нагрузках. Приведены дифференциальные уравнения, описывающие трехмерные поступательные и трехмерные вращательные колебания. Получены зависимости оценки локальной и общей устойчивости. Приведен численный пример, учитывающий локальную устойчивость по высшим формам колебания. При этом анализируется поведение реального 16-этажного каркасного здания в г. Ленинскане при землетрясении в Спитаке 7 декабря 1988 г. Проведены основные причины потери устойчивости и разрушения.

**Ключевые слова:** общая и локальная устойчивость, многомассовая динамическая система, трехмерные поступательные и вращательные колебания, аварийные нагрузки.

UDC 624.07.147 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.50.54. GENERAL AND LOCAL STABILITY OF MULTI-STORY BUILDINGS UNDER DYNAMIC AND SEISMIC

INFLUENCES. A.A. Minasyan, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: 1747210@mail.ru

Abstract. The issues of general and local stability of multi-storey buildings and high-rise structures under emergency (explosions, earthquakes) loads are considered. Differential equations describing three-dimensional translational and three-dimensional rotational oscillations are given. Dependences of local and general stability estimation are obtained. A numerical example is given that takes into account local stability in higher forms of oscillation. At the same time, the behavior of a real 16-storey frame building in Leninakan during the earthquake in Spitak on December 7, 1988 is analyzed. The main causes of loss of stability and destruction are carried out.

**Key words:** general and local stability, multi-mass dynamic system, three-dimensional translational and rotational oscillations, emergency loads.

УДК 624.154 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.55.60

В.С. УТКИН, д.т.н., проф., Ж.В. КОШЕЛЕВА, к.т.н., доц., Л.А. СУШЕВ, аспирант ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»; e-mail: utkinvogtu@mail.ru

### РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ ВИСЯЧИХ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С УШИРЕНИЕМ ПРИ СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКЕ В ОДНОРОДНОМ ГРУНТЕ ОСНОВАНИЯ...55

В работе рассмотрен расчет бурнабивной свай с уширением на нижнем конце и без уширения в однородном грунте основания при центральном сжатии для

определения ее эффективной длины. Изготовление свай с уширением отличается повышенной стоимостью, поэтому снижение их стоимости является актуальной проблемой.

Этого можно достигнуть, в частности, выявлением значения эффективной длины сваи. Длина сваи считается эффективной, если под ее уширенной частью достигается напряжение в грунте, равное расчетному значению  $R$  сопротивления грунта основания, значения которого приведены в СП 24.13330.2011 (2021) для различных грунтов при различной глубине погружения сваи с  $H$ . В работе табличные значения  $H \square R$  представлены в виде зависимости с  $R \square H$  (функциями), вид которых определяется методом наименьших квадратов. В отличие от указанных по расчетам свай по СП 24.13330.2011(2021) предложена иная расчетная схема работы сваи в грунте основания без доведения ее до «срыва». В результате представлено расчетное уравнение для определения эффективной длины сваи с уширением на нижнем конце. Аналогичные расчеты применимы и для свай без уширения.

**Ключевые слова:** бурнабивная свая, свая с уширением, эффективная длина сваи, однородный грунт, несущая способность грунта, несущая способность сваи, сваи без уширения.

UDC 624.154 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.55.60. CALCULATION OF THE EFFECTIVE LENGTH OF HANGING UNDER-REAM BORED PILES UNDER COMPRESSIVE LOAD

IN A HOMOGENEOUS GROUND OF THE BASE. V.S. Utkin, Zh.V. Kosheleva, L.A. Sushev, Vologda State University; e-mail: utkinvogtu@mail.ru

Abstract. The article considers the calculation of the effective length of an under-ream bored pile and a pile located under axial compression conditions in a homogeneous ground of the base. Reducing the cost of piles is an important problem, since the manufacture of piles with broadening is characterized by increased cost. This can be achieved by identifying the value of the effective pile length. The length of the pile is considered effective if a stress in the ground is reached under its widened part equal to the calculated value  $R$  of the resistance of the ground of the base. The values of soil resistance are given in SP 24.13330.2011 (2021) for different soils at different depths of immersion of the  $H$  pile. In the paper, the tabular values of  $H$  and  $R$  are presented as a dependence of  $R$  on  $H$  (functions). The type of these functions is determined by the least squares method. In contrast to the instructions for the calculations of piles according to JV 24.13330.2011 (2021), a different design scheme for the operation of the pile in the ground of the base is proposed without bringing it to a "breakdown". As a result, a calculation equation is presented to determine the effective length of the under-ream bored pile. Similar calculations are applicable for piles without broadening.

**Key words:** bored pile, under-ream hanging pile, effective pile length, homogeneous soil, bearing capacity of the soil, bearing capacity of the pile, piles without broadening.

#### Экспериментальные исследования

##### Experimental studies

УДК 69.07, 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.61.67

А.И. КОВАЛЕНКО, инж., Д.В. КОНИН, к.т.н., П.В. НАХВАЛЬНОВ, инж., Д.В. СОЛОВЬЕВ, к.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО«НИЦ«Строительство»), г. Москва; e-mail: konden@inbox.ru

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ФРИКЦИОННЫХ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ...61

С целью подтверждения коэффициента трения проведен ряд экспериментов на моделях фрикционных соединений с контактными поверхностями, подвергнутыми дробеструйной обработке. Установлена зависимость коэффициента трения от технологии подготовки контактных поверхностей и наличия защитного покрытия. Полученные данные говорят о том, что достижение максимального гарантированного коэффициента трения в 0,58 требует тщательного контроля за подготовкой контактной поверхности. Отмечено отсутствие нормативных требований к технологии абразивоструйной обработки и контролю качества поверхности трения. Приведены отличия в подходах к определению коэффициента трения между отечественной и зарубежной методикой. Обоснована целесообразность пересмотра значений коэффициентов трения для различных способов обработки поверхностей, принимаемых в СП 16.13330.2017 для фрикционных соединений.

**Ключевые слова:** болт, трение, дробь, песок, кулершлак, шероховатость, фрикционное соединение, технология очистки, абразивоструйная обработка, контролируемое натяжение.

UDC 69.07, 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.61.67. EXPERIMENTAL STUDY OF THE COEFFICIENT OF FRICTION IN SLIP CRITICAL BOLT JOINTS. A.I.Kovalenko,

D.V.Konin, P.V.Nahvalnov, D.V.Solovev, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC"Construction"), Moscow; e-mail: konden@inbox.ru

Abstract. In order to confirm the slip factor, a series of experiments carried out on models of slip critical joints with contact surfaces subjected to shot blasting. The dependence of the slip factor on the technology of preparation of contact surfaces and the presence of a protective coating is established. The data obtained suggest that achieving the maximum guaranteed coefficient of friction of 0.58 requires careful control over the preparation of the contact surface. The absence of regulatory requirements for the technology of abrasive blasting and quality control of the friction surface is noted. Differences in approaches to the determination of the coefficient of friction between domestic and foreign methods are given. The expediency of revising the values of slip factor for various methods of surface treatment adopted in SP 16.13330.2017 for slip critical joints is substantiated.

**Key words:** bolt, friction, shot, sand, copper slag, roughness, slip critical joint, cleaning technology, abrasive blasting, pretension.

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.68.78

М.И. ФАРФЕЛЬ<sup>1,2</sup>, к.т.н., доцент, Л.С. РОЖКОВА<sup>1</sup>, инженер <sup>1</sup>ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), <sup>2</sup>НИУ МГСУ, г.Москва; e-mail: Farfelmi@yandex.ru

### ИСПЫТАНИЯ СТЕКЛЯННЫХ БАЛКОК, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОГОНОВ ПОКРЫТИЯ АТРИУМА В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ...68

Перед реконструкцией и реставрацией Восточного крыла Главного Штаба, с целью устройства во дворе 4 атриума для помещений Государственного Эрмитажа в г. Санкт-

Петербурге, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» провел испытания натурной стеклянной балки, предназначенной в качестве прогона на покрытие. В

статье приведены методика испытаний, конструкция стенда для испытания, устройства для приложения нагрузки и снятия показаний с приборов. Представлен анализ

результатов эксперимента, на основании которого вместо предлагаемых стеклянных балок на покрытие двора были установлены металлические балки и прогоны. Даны

рекомендации для использования стеклянных балок в качестве несущих конструкций. Ключевые слова: конструкции покрытия, прогоны, связи, фермы, стеклянные балки,

расчет, несущая способность, деформированная схема, продольные и поперечные усилия, изгибающий момент.

UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.4.68.78. TESTING OF GLASS BEAMS INTENDED FOR COATING RUNS ATRIUM IN ST. PETERSBURG. M.I.Farfelmi<sup>1,2</sup>, L.S.Rozhkova<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC"Construction"), Moscow, <sup>2</sup>NRU MGSU, Moscow; e-mail: Farfelmi@yandex.ru.

Abstract. Before the reconstruction and restoration of the Eastern Wing of the General Staff, in order to install an atrium in the courtyard 4 for the premises of the State Hermitage Museum in St. Petersburg, the V.A. Kucherenko TSNIISK of JSC "SIC "Construction" tested a full-scale glass beam intended as a covering run. The article presents the test procedure, the design of the test stand, devices for applying the load and taking readings from the instruments. An analysis of the results of the experiment is presented, on the basis of which, instead of the proposed glass beams, metal beams and girders were installed on the courtyard covering. Recommendations are given for the use of glass beams as load-bearing structures.

**Key words:** coating structures, girders, ties, trusses, glass beams, calculation, bearing capacity, deformed scheme, longitudinal and transverse forces, bending moment.

#### № 5 за 2022 год

##### Расчеты на прочность

##### Strength calculations

УДК 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.2.12

В.П. ШАРКОВ, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева; e-mail: V.P.Sharkov@mail.ru

### О КРИТЕРИЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК В ЗАПОЛНИТЕЛЕ СИЛОСОВ ОТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ,

### МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И СВЯЗАННОГО С ЭТИМ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ...2

Для оценки условий возникновения (или отсутствия) при сейсмических воздействиях в заполнителе силосов явления перераспределения разработаны критерии для оценки влияющих на это факторов и их величин: плотности заполнителя и его потенциала уплотнения, взаимосвязи ускорений и глубины зоны уплотнения, а также осадок. В условиях отсутствия расчетных формул предложен на примерах способ определения осадок, а также продолжительности воздействия с расчетным ускорением, основанный на использовании результатов виброкомпрессионных испытаний образцов заполнителя. Показаны методики расчета возникающего при этом давления заполнителя на стенки с использованием формулы автора.

**Ключевые слова:** силос, заполнитель, сейсмические воздействия, перераспределение нагрузок, критерии, плотность, ускорение, виброуплотнение, осадки, расчеты, давление на стены.

UDC 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.2.12. ON THE CRITERIA FOR THE OCCURRENCE OF LOAD REDISTRIBUTION IN THE SILO FILLER FROM SEISMIC IMPACTS,

METHODS FOR DETERMINING PARAMETERS AND THE ASSOCIATED LATERAL PRESSURE. V.P. Sharkov, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named

after K.A.Timiryazev; e-mail: V.P.Sharkov@mail.ru

Abstract. To assess the conditions of occurrence (or absence) of the redistribution phenomenon during seismic impacts in the silo filler, criteria have been developed to assess the factors affecting this and their values: the density of the filler and its compaction potential, the relationship of accelerations and the depth of the compaction zone, as well as sediment. In the absence of calculation formulas, a method for determining precipitation, as well as the duration of exposure with calculated acceleration, based on the use of the results of vibration compression tests of filler samples, is proposed and shown by examples. The methods of calculating the resulting filler pressure on the walls using the author's formula are shown.

**Key words:** silo, filler, seismic impacts, load redistribution, criteria, density, acceleration, vibration compaction, precipitation, calculations, pressure on walls.

## [Расчеты на устойчивость](#)

### [Stability calculation](#)

УДК 624.154 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.13.19

В.С. УТКИН, д.т.н., проф., Ж.В. КОШЕЛЕВА, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда; e-mail: utkinvogtu@mail.ru

### РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИНЫ БУРОНАБИВНЫХ ВИСЯЧИХ СВАЙ ПРИ СЖАТИИ ПО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХСЛОЙНОГО ГРУНТА ОСНОВАНИЯ...13

В работе предложен новый метод расчета эффективной длины буронабивных свай по несущей способности двухслойного грунта основания. Особую значимость эта проблема расчета приобретает при необходимости применения свай большой длины и большого диаметра. Существующий в нормативной документации расчет свай по несущей способности грунта основания основан на возникновении сил трения на поверхности сваи в результате ее перемещения («срыва») в грунтовой среде, что не соответствует работе сваи на стадии эксплуатации. На практике срыв сваи недопустим, поэтому для безопасной работы сваи вводят в расчет ряд коэффициентов условия работы. Предложен новый подход к расчету свай по несущей способности в многослойных грунтах основания на основе учета сил трения-сцепления на поверхности сваи, вызванных микроперемещениями поверхностных слоев материала сваи в результате общей ее деформации от сжимающей нагрузки на сваю. Под эффективной длиной сваи понимается такая ее длина, при которой эффективно используется несущая способность грунта на ее поверхности и под нижним концом сваи. Благодаря такой длине сваи достигается экономический эффект в свайных основаниях. Приведенный метод расчета буронабивной сваи может быть использован в расчетах других свай по материалу, способу погружения и числу слоев грунта основания.

**Ключевые слова:** свая, несущая способность грунта, двухслойное основание, сжимающая нагрузка, силы трения-сцепления, буронабивная свая.

UDC 624.154 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.13.19. CALCULATION OF THE EFFECTIVE LENGTH OF COMPRESSED BORED HANGING PILES BASED ON THE BEARING CAPACITY OF THE TWO-LAYER FOUNDATION SOIL. V.S. Utkin, Zh.V. Kosheleva, Vologda State University; e-mail: utkinvogtu@mail.ru

Abstract. The article discusses a new method for calculating the effective length of bored hanging piles based on the bearing capacity of a two-layer foundation soil. This calculation problem is of particular importance when it is necessary to use piles of large length and large diameter. The calculation of a hanging pile according to the bearing capacity of the foundation soil adopted in regulatory documents is based on the occurrence of friction forces on the surface of the pile because of its movement ("disruption") in the ground environment. It does not correspond to the behavior of the pile during operation. In practice, the disruption of the pile is unacceptable, therefore, for the safe operation of the pile, the coefficients of the working conditions are entered into the calculation. A new approach to the calculation of hanging piles by bearing capacity in multilayer foundation soils based on the account of friction-adhesion forces on the surface of the pile is proposed. The friction-coupling forces are caused by micro-displacements of the surface layers of the pile material because of its general deformation from the compressive load on the pile. The effective length of the pile is understood to be such a length at which the bearing capacity of the soil on its surface and under the lower end of the pile is effectively used. Due to this length of the pile, an economic effect is achieved in pile foundations. The above method of calculating the bored pile can be used in the calculations of other piles by material, method of immersion and the number of layers of the foundation soil.

**Key words:** hanging pile, bearing capacity of the soil, two-layer base, compressive load, friction-coupling forces, bored pile.

## [Численные расчеты](#)

### [Numerical calculations](#)

УДК 624.04+624.07+517.972.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.20.28

А.В. ЕРМАКОВА, к.т.н., доцент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск; e-mail: annaolga11@gmail.com

### ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР ПОСТЕПЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАТРИЦ ЖЕСТКОСТИ ТРЕУГОЛЬНОГО КЭ БАЛКИ-СТЕНКИ И ЕГО ДКЭ...20

В статье представлен численный пример постепенного преобразования матрицы жесткости треугольного конечного элемента балки-стенки с помощью матриц жесткости его дополнительных конечных элементов. К моменту разрушения материал КЭ (бетон) проявляет от двух (при сжатии) до четырех (при растяжении) физические нелинейных свойств. Начальная матрица жесткости КЭ изменяется при появлении каждого из них. Поэтому рассмотрены два варианта ее численного изменения. Оба варианта подтверждают возможность реализации расчета конструкций с несколькими физически нелинейными свойствами по прочностному предельному состоянию при использовании метода дополнительных конечных элементов (МДКЭ).

**Ключевые слова:** метод дополнительных конечных элементов, метод конечных элементов, матрица жесткости конечного элемента, дополнительный конечный элемент, матрица жесткости дополнительного конечного элемента.

UDC 624.04+624.07+517.972.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.20.28. NUMERICAL EXAMPLE OF GRADUAL TRANSFORMATION OF STIFFNESS MATRIX

FOR TRIANGULAR FINITE ELEMENT OF DEEP BEAM AND ITS AFE. A.V. Ermakova, South Ural state University (NRU), Chelyabinsk; e-mail: annaolga11@gmail.com.

Abstract. The paper considers the numerical example of gradual transformation of the stiffness matrix of triangular finite element of deep beam with the help of stiffness matrix of its additional finite elements. Material FE (concrete) reveals from two (under compression) to four (under tension) physical nonlinear properties before collapse. Initial stiffness matrix changes due to the every one. Therefore two variants of its numerical transformation are considered. Both variants confirm the possibility of realization of the analysis of structures with several nonlinear properties at strength limit state when the Additional Finite Element Method (AFEM) is used.

**Key words:** additional finite element method, finite element method, stiffness matrix of finite element, additional finite element, stiffness matrix of additional finite element.

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.29.32

Д.Н. НИЗОМОВ<sup>1</sup>, д.т.н., проф., член-корр. НАНТ, А.И. ДАДАБОВЕВ<sup>2</sup>, старший преподаватель <sup>1</sup>Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии

Национальной академии наук Таджикистана (НАНТ), <sup>2</sup>Ходжентский филиал Таджикского технического университета имени академика М.С.Осимии; e-mail:

ties@mail.ru

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ...29

В статье излагаются особенности математического моделирования двумерной статической задачи теории упругости методом граничных интегральных уравнений. Полученные уравнения позволяют исследовать напряженно-деформированное состояние плоской задачи при различных внешних воздействиях. В результате применения сплайн-аппроксимации граничных параметров система интегральных уравнений преобразуется в систему линейных алгебраических уравнений с неизвестными компонентами перемещений и напряжений. Алгоритм реализован на примере задачи Ламе.

**Ключевые слова:** внутренняя задача, конечная область, граничные уравнения, фундаментальное решение, сплайн-аппроксимация.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.29.32. MATHEMATICAL MODELING OF THEORY PROBLEMS ELASTICITY BY THE METHOD OF BOUNDARY

EQUATIONS. D.N. Nizomov<sup>1</sup>, A.I. Dadaboev<sup>2</sup>, 1 Institute of Geology, Seismic Construction and Seismology of the National Academy of Sciences of Tajikistan (NAST), 2 Khodzhet

branch of the Tajik Technical University named after Academician M.S.Osimi; e-mail: ties@mail.ru

Abstract. The article describes the features of mathematical modeling of a two-dimensional static problem of elasticity theory by the method of boundary integral equations. The resulting equations make it possible to investigate the stress-strain state of a plane problem under various external influences. As a result of applying the spline approximation of the boundary parameters, the system of integral equations is transformed into a system of linear algebraic equations with unknown displacement and stress components

**Key words:** internal problem, finite domain, boundary equations, fundamental solution, spline approximation.

## [Динамические расчеты](#)

### [Dynamic calculation](#)

УДК 624.072.2/7:624.042.7.001.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.33.41

З.Р. ГАЛЯУТДИНОВ, д.т.н., доцент, О.Г. КУМПЯК, д.т.н., профессор, Д.Р. ГАЛЯУТДИНОВ, ассистент, Е.В. ШИПИЛОВА, ассистент Томский государственный

архитектурно-строительный университет; e-mail: gazr@yandex.ru

### ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ПОДАТЛИВЫХ ОПОРАХ ЗА ПРЕДЕЛАМИ УПРУГОСТИ...33

Цель. Защитные сооружения гражданской обороны проектируются из условия восприятия кратковременных динамических нагрузок. При этом несущие конструкции могут деформироваться в пластической стадии. Для снижения усилий и перемещений несущих элементов при интенсивном динамическом нагружении применяются активные способы защиты конструкций. Одним из таких методов являются податливые опоры в виде сминаемых вставок кольцевого сечения. В работе рассмотрено изменение перемещений и усилий упругопластических железобетонных балок в зависимости от податливости опорных закреплений. Метод. Влияние податливости опор на работу конструкций при кратковременном динамическом нагружении изучалось численно-теоретическим методом. На основании теоретических исследований разработан алгоритм динамического расчета железобетонных балок с трещинами, с применением которого выполнен расчет конструкций при различных условиях деформирования податливых опор. Результаты. Расчетами показано, что применение податливых опор, деформирующихся только в упругой стадии, может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на работу конструкций. В данном случае могут возникать области значений  $\omega$ , в которых наблюдается увеличение коэффициента динамичности конструкции на податливых опорах относительно балок на несминаемых опорах. Наибольшая эффективность применения податливых опор достигается при их работе в пластической стадии без перехода в стадию отвердения.

**Ключевые слова:** кратковременная динамическая нагрузка, уравнение движения, коэффициент динамичности, податливая опора, функция динамичности, железобетонная упругопластическая балка, частота собственных колебаний.

UDC 624.072.2/7:624.042.7.001.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.33.41. DYNAMIC CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ON YIELDING SUPPORT BEYOND THE

LIMITS OF ELASTICITY. Z.R. Galyautdinov, O.G. Kumpyak, D.R. Galyautdinov, E.V. Shipilova, Tomsk State University of Architecture and Building; e-mail: gazr@yandex.ru.

Abstract. Protective structures of civil defense are designed from the condition of perception of short-term dynamic loads. In this case, the supporting structures can be deformed in the plastic stage. To reduce the forces and displacements of the bearing elements under intense dynamic loading, the active methods of protecting structures are used. The flexible supports in the form of collapsible inserts of annular section is one of such methods. The paper considers the change in displacements and forces of the elastic-plastic reinforced concrete beams, depending on the compliance of support fastenings. Based on the theoretical studies, an algorithm for the dynamic calculation of reinforced concrete beams with cracks was developed, with which the calculation of structures was performed under various conditions of deformation of yielding supports. The calculations showed that the use of yielding supports deformed only in the elastic stage can have both a positive and a negative effect on the operation of structures. In this case, there may be the areas of  $\omega$  values in which there is an increase in the dynamic coefficient of the structure on yielding supports relative to the beams on non-displaceable supports. The greatest efficiency of using the yielding supports is achieved when they work at the plastic stage without transition to the hardening stage.

**Key words:** short-term dynamic load, equation motion, dynamic coefficient, yielding support, dynamic function, elastic-plastic reinforced concrete beam, frequency of natural fluctuations.

УДК 624.35:531.391.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.42.47

М.Н. КИРСАНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф. Национальный исследовательский университет «МЭИ», e-mail: c216@ya.ru  
АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРВОЙ ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ МНОГОПРОЛЕТНОЙ ФЕРМЫ...42

Ставится задача определения зависимости нижней границы основной частоты собственных колебаний статически определимой фермы от числа пролетов. Верхний пояс фермы прямолинейный, нижний пояс пролетов — арочный. Инерционные свойства фермы моделируются одинаковыми сосредоточенными массами в узлах. Каждая масса имеет две степени свободы. Усилия в стержнях и реакции опор находятся методом вырезания узлов в символической форме из решения общей системы уравнений равновесия узлов фермы. Все преобразования производятся в системе компьютерной математики Maple. Для нахождения матрицы жесткости конструкции используется формула Максвелла – Мора. Первая собственная частота конструкции находится по приближенному методу Донкерлея. Обобщение серии отдельных решений, найденных для ферм с различным числом пролетов, на произвольное число пролетов выполняется методом индукции с применением операторов системы Maple. Для сравнения используется наименьшая частота колебаний системы с многими степенями свободы, полученная численно. Выведена формула для нижней оценки первой частоты в зависимости от размеров фермы и числа пролетов. Сравнение аналитического решения с численным показывает хорошую степень приближения формулы для первой частоты. Погрешность существенно зависит от высоты фермы. Выявлены случаи кинематической изменяемости конструкции при четном числе пролетов.

**Ключевые слова:** ферма, Maple, индукция, число панелей, первая частота колебаний, нижняя оценка.

UDC 624.35:531.391.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.42.47. ANALYTICAL EVALUATION OF THE FIRST NATURAL FREQUENCY OF A MULTI-SPAN TRUSS. M.N. Kirsanov, National Research University "MPEI"; e-mail: c216@ya.ru

Abstract. The task is to obtain the dependence of the lower limit of the fundamental frequency of natural oscillations of a statically determinate truss on the number of spans. The upper belt of the truss is straight, the lower belt of spans is arched. The inertial properties of the truss are modeled by the same concentrated masses in the nodes. Each mass has two degrees of freedom. The forces in the rods and the reactions of the supports are found by cutting out the nodes in symbolic form from the solution of the general system of equations for the equilibrium of the truss nodes. All transformations are made in the Maple computer mathematics system. To find the structural stiffness matrix, the Maxwell – Mohr formula is used. The first natural frequency of the structure is found using the approximate Dunkerley method. The generalization of a series of individual solutions found for trusses with a different number of spans to an arbitrary number of spans is performed by induction using Maple system operators. For comparison, the lowest oscillation frequency of a system with many degrees of freedom obtained numerically is used. A formula is derived for the lower estimate of the first frequency depending on the size of the truss and the number of spans. Comparison of the analytical solution with the numerical one shows a good degree of approximation of the formula for the first frequency. It is shown that the error significantly depends on the height of the truss. Cases of kinematic variability of the structure with an even number of spans are revealed.

**Key words:** truss, Maple, induction, number of panels, first oscillation frequency, lower estimate.

[Сейсмические расчеты](#)

[Seismic calculations](#)

УДК 550.34.09, 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.48.53

Н.В. НИКОНОВА<sup>1</sup>, к.т.н., А.М. УЗДИН<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, Л.Н. СМІРНОВА<sup>2</sup>, к.т.н. 1Петербургский государственный университет путей сообщения имени императора Александра I (ПГУПС), г. Санкт-Петербург; <sup>2</sup>Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: uzdin@mail.ru

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ УСКОРЕНИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ...48

Рассматривается влияние неоднородности поля возмущения на площадке строительства на сейсмическую реакцию сооружения. Для этого использовался показатель идентичности двух сигналов, введенный авторами ранее и включающий показатели несинхронности, некогерентности и разномасштабности процессов. Отмечается, что реальные показатели идентичности возмущений на площадке строительства требуют их учета при задании сейсмического воздействия. Особенно существенна некогерентность возмущения в различных точках при резонансном возмущении сооружения.

**Ключевые слова:** сейсмическое воздействие, пространственная неоднородность, корреляция, несинхронность, разномасштабность, когерентность, коэффициент идентичности, реакция сооружения, относительная жесткость.

UDC 550.34.09, 69.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.48.53. INFLUENCE OF ACCELERATION FIELD INHOMOGENEITY ON THE RESPONSE SPECTRUM. N.V. Nikonova<sup>1</sup>, A.M. Uzdin<sup>1</sup>, L.N. Smirnova<sup>2</sup>, 1Petersburg State University of Railways named after Emperor Alexander I (PGUPS), St. Petersburg; 2Joint Stock Company "Research Center "Construction" (JSC "NIC "Construction"), Moscow; e-mail: uzdin@mail.ru;

Abstract. The influence of the field of accelerations inhomogeneity on the building site on the structure response spectrum has been consider. For this aim, we used the identity coefficient of two signals, introduced earlier by the authors this paper, and including indicators of non-synchronous, incoherence and multiscale processes. Its note, that the true values the identity coefficients of vibration points of ground base of building site it is necessary to take into account when setting the seismic excitation. In the case of structure resonant vibrations, the incoherence of the seismic input of different points is more important.

**Key words:** seismic input, spatial heterogeneity, correlation, non-synchronous, multi-scale, coherence, coefficient of identity, response spectrum, relative stiffness.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.54.62

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доц. Пятигорский институт Северо-Кавказского федерального университета; e-mail: al\_marut@mail.ru  
ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОЯСАМИ ИЗ ПЯТИУГОЛЬНЫХ РАВНОКАТЕТНЫХ И РАВНОБЕДРЕННЫХ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ...54

Приведены уточненные значения оптимальных параметров пятиугольных профильных труб (гнутоварных профилей), равноустойчивых из плоскости и в плоскости ферменной конструкции. Показана эффективность и рациональность их применения в поясных элементах за счет функциональности компоновочного оформления поперечных сечений, включающих одну полку (горизонтальную грань), пару стенок (вертикальных граней) и пару наклонных граней, симметрично расположенных относительно вертикали под углами 45° в первой модификации (равнокатетной) и 60° во второй модификации (равнобедренной). Обе модификации открывают определенную перспективу для не менее функционального компоновочного оформления в обновленных бесфасоночных узлах, характерных для ферменных конструкций из трубчатых профилей. Выполнен сравнительный расчет конструктивных коэффициентов и осредненных коэффициентов использования стержневых элементов поясов из пятиугольных профилей на примере их реализации в одной и той же полуферме (отправочной марке), когда количество унификационных зон совпадает. Выявлено заметное уменьшение массы (веса) и сокращение конструкционного материала (стали) поясов и, как следствие, всей конструкции посредством повышенных значений статических (геометрических) характеристик расчетных сечений. Подтверждена приемлемая корректность приближенной методики расчета для ее применения в решениях оптимизационных и вариантных задач, а также на разных стадиях проектирования несущих конструкций.

**Ключевые слова:** легкие металлоконструкции, расчет оптимальных параметров, бесфасоночные узлы, профильные трубы, гнутоварные профили, ферменные системы, решетчатые конструкции.

UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.54.62. OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES WITH CHORDS OF PENTAGONAL PROFILE PIPES ISOSCELES AND EQUILATERAL. A.S. Marutyayn, Pyatigorsk Institute of the North Caucasus Federal University; e-mail: al\_marut@mail.ru.

Abstract. The article determines the specified values of optimal parameters of pentagonal profile pipes (bent-welded profiles), equally stable out of and within the truss structure. The efficiency and rationality of their use in chord elements are shown due to the functionality of the layout design of cross sections, including one flange (horizontal face), a pair of walls (vertical faces) and a pair of inclined faces symmetrically arranged to the vertical at angles of 45° in the first modification (equilateral) and 60° in the second modification (isosceles). Both modifications disclose the certain prospect for high functional layout design in the updated faceless nodes typical for truss structures made of tubular profiles. The article gives the comparative calculation of the design coefficients and the averaged coefficients of the use of chord core elements made of pentagonal profiles with the example of their implementation in the same semi-truss, when the number of unification zones coincides. A noticeable decrease in the mass (weight) and reduction of the structural material (steel) of the chords and, as a consequence, the entire structure was revealed by the increased values of static (geometric) characteristics of the design sections. The acceptable correctness of the approximate calculation method is confirmed for its application in solving optimization and variant problems as well as at different stages of load-bearing structures' design.

**Key words:** light-weight metal structures, calculation of optimal parameters, faceless assemblies, profile pipes, bent-welded profiles, truss systems, lattice structures.

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.63.66

В.И. ОБОЗОВ, д.т.н., проф. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва, e-mail: obozov@yandex.ru  
НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ...63

Анализируются различные способы усиления фундаментных плит применительно к случаям, когда после возведения фундаментных плит в результате корректировки проекта увеличивается на них нагрузка. Приведен пример реализации усиления фундаментной плиты в случае увеличения этажности здания с 10-14 этажей до 17. Эффективность различных способов усиления фундаментных плит исследована на примере строящейся в г. Тверь областной детской клинической больницы. Способы усиления фундаментных плит условно разделены на две группы в рамках построения конечно-элементной расчетной модели. К первой группе отнесены способы, компенсирующие нехватку верхней растянутой арматуры фундаментной плиты наклейкой на поверхность проблемных участков стальных либо углепластиковых лент. Ко второй группе отнесены способ, перераспределяющие изгибные усилия в фундаментной плите от более нагруженных к менее нагруженным участкам. Исследованы способы моделирования подколонников в вычислительной среде программного комплекса ЛИРА-САПР.

**Ключевые слов:** здание, фундаментные плиты, подколонники, способы усиления, эффективность, стальные (углепластиковые) ленты, болт-шпилька, составная система, моделирование.  
UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.63.66. SOME STRENGTHS FOUNDATION SLABS. V.I. Obozov, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow, e-mail: obozov@yandex.ru

Abstract. Various ways of strengthening foundation slabs are analyzed in relation to cases when, after the construction of foundation slabs, as a result of project adjustments, the load on them increases. An example of the implementation of the reinforcement of the foundation plate in the case of an increase in the number of storeys of the building from 10-14 floors to 17 is given. The effectiveness of various ways of strengthening foundation slabs is investigated by the example of the regional children's clinical hospital under construction in Tver. The methods of reinforcement of foundation slabs are conditionally divided into two groups within the framework of constructing a finite element computational model. The first group includes methods that compensate for the lack of upper stretched reinforcement of the foundation plate by sticking on the surface of problem areas of steel or carbon fiber tapes. The second group includes a method that redistributes bending forces in the foundation plate from more loaded to less loaded sections. Methods of modeling of sub-columns in the computing environment of the LIRA-CAD software complex are investigated

**Key words:** building, foundation slabs, sub-columns, reinforcement methods, efficiency, steel (carbon fiber) tapes, bolt-stud, composite system, modeling.



[В порядке обсуждения](#)

[In order to discuss.](#)

УДК 698.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.67.73

С.В. КУШНИР, инженер, М.Н. ПАВЛЕНКО, инженер, И.В. СТУЛЬЕВА, инженер ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»); e-mail: 1747302@mail.ru

#### ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ...67

Технические решения по устройству фасадных конструкций на объектах в настоящее время представлены комбинацией различных фасадных систем и витражных конструкций. Разработка проектов по устройству фасадов зданий выполняется на основе типовых технических решений. При этом чаще всего типовые технические решения не адаптируются под условия места строительства и расположения объекта, не учитываются уникальные архитектурные особенности объекта. Это является причиной возникновения дефектов, особенно при совместном применении светопрозрачных конструкций и навесных фасадных систем. Проблема, затрагиваемая в статье, – отсутствие комплексного научного подхода для решения задач по проектированию и возведению экспериментальных фасадных конструкций в сложных климатических условиях.

**Ключевые слова:** навесная фасадная система, светопрозрачные конструкции, витражи, композитные панели, протечки, проектирование, монтаж, технические решения.  
UDC 698.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.5.67.73. **ISSUES OF JOINT APPLICATION LIGHT-TRANSPARENT STRUCTURES AND HINGED FACADE SYSTEMS.** S.V. Kushnir, M.N. Pavlenko, I.V. Stul'eva, TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: 1747302@mail.ru

Abstract. Technical solutions for the installation of facade structures at facilities are currently represented by a combination of various facade systems and stained glass structures. The development of projects for the arrangement of building facades is carried out on the basis of standard technical solutions. At the same time, most often, standard technical solutions are not adapted to the conditions of the construction site and the location of the facility, and the unique architectural features of the facility are not taken into account. This is the cause of defects, especially when combined with the use of translucent structures and hinged facade systems. The problem addressed in the article is the lack of an integrated scientific approach to solving the problems of designing and erecting experimental facade structures in difficult climatic conditions.

**Key words:** hinged facade system, translucent structures, stained-glass windows, composite panels, leaks, design, installation, technical solutions.

[Информация о книге](#)

[Information about the book](#)

Владимир РАЙЗЕР, Исаак ЕЛИШАКОВ

#### ФИЛОСОФИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ...74

Неопределенность, несомненно, присутствует в инженерном деле, что делает ее критически важной для проектирования конструкций. В этой книге рассматриваются три конкурирующие философии, лежащие в основе безопасности и надежности конструкций: вероятностный анализ, методы, основанные на нечетких множествах, и выпуклое моделирование. Подробно объясняя теорию, лежащую в основе вероятностного анализа, методов обработки на основе нечетких множеств и выпуклого подхода, наряду с их реализацией, использованием и преимуществами, в книге сравниваются и противопоставляются эти методы, позволяя читателю решать проблемы, связанные с неопределенностью. Эти проблемы неопределенности можно увидеть в гражданских инженерных сооружениях, в оценке риска землетрясений, воздействии морских волн на суда и турбулентности, влияющей на аэрокосмические аппараты. Основываясь на многолетнем опыте авторов в этой области, философия безопасности и надежности конструкций является важным руководством к анализу структурной неопределенности. Темы, затронутые в книге, включают свойства материалов и их конструктивный износ, коэффициенты надежности, оценку рисков и модели нагрузок, а также их сочетания. Эта книга будет интересна студентам и специалистам в области аэрокосмической, строительной, машиностроительной техники и морских сооружений.

Vladimir RAIZER, Isaac ELISHAKOFF. **PHILOSOPHIES OF STRUCTURAL SAFETY AND RELIABILITY.**

Abstract. Uncertainty is certain to be found in structural engineering, making it crucial to structure design. This book covers three competing philosophies behind structural safety and reliability: probabilistic analysis, fuzzy set-based treatments, and the convex approach. Explaining the theory behind probabilistic analysis, fuzzy set-based treatments, and the convex approach in detail, alongside their implementation, use, and benefits, the book compares and contrasts these methods, enabling the reader to solve problems associated with uncertainty. These uncertainty issues can be seen in civil engineering structures, risk of earthquakes, impact of rough seas on ships, and turbulence affecting aerospace vehicles. Building on the authors' many years of experience in the field, "Philosophies of Structural Safety and Reliability" is an essential guide to structural uncertainty. Topics covered in the book include properties of materials and their structural deterioration, safety factor and reliability, risk evaluation and loads, and their combinations. This book will be of interest to students and professionals in the fields of aerospace, civil, mechanical, marine, and ocean engineering.

ПАМЯТИ Еремеева П.Г....76

IN MEMORY OF P.G. Eremeev...76

№ 6 за 2022 год

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 519.65:624.042 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.2.7

А.П. ЛОКТИОНОВ, д.т.н., проф. Юго-Западный государственный университет, г. Курск; e-mail: loapa@mail.ru

#### ВОССТАНОВЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАЛКИ ПРИ ЗАДАНЫХ МЛАДШИХ КОЭФФИЦИЕНТАХ УРАВНЕНИЯ ПРОГИБОВ...2

Рассмотрено математическое моделирование и экспериментальное исследование обратной задачи Коши по восстановлению начальных параметров упругой линии балочного элемента строительной конструкции при заданных младших коэффициентах уравнения прогибов балки. При равномерной непрерывной норме погрешности прогибомеров интерполированием полиномом Лагранжа получено распределение прогибомеров по балке, минимизирующее погрешность восстановления начальных параметров по критерию минимума функции Лебега.

**Ключевые слова:** балка, начальные параметры, моделирование, обратная задача Коши, функция Лебега, прогибомер.

UDC 519.65:624.042 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.2.7. **RECOVERY OF THE INITIAL PARAMETERS OF THE BEAM WITH THE GIVEN JUNIOR COEFFICIENTS OF THE DEFLECTION EQUATION.** A.P. Loktionov, Southwest State University; Kursk, Russia; e-mail: loapa@mail.ru

Abstract. Mathematical modeling and experimental study of the inverse Cauchy problem of restoring the initial parameters of the elastic line of a beam element of a building structure for given minor coefficients of the beam deflection equation are considered. With a uniform continuous absolute norm of error for measuring deflections by interpolating with a Lagrange polynomial, the distribution of deflection meters over the beam is obtained, which minimizes the error in restoring the initial parameters by the criterion of minimum of the Lebesgue function.

**Key words:** beam, initial conditions, modeling, inverse Cauchy problem, Lebesgue function, deflection meter.

[Численные расчеты](#)

[Numerical calculations](#)

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.8.17

И.С. ЗАВЬЯЛОВ, аспирант Волгоградский государственный технический университет; e-mail: is\_zavyalov@mail.ru

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ТОНКОЙ ИЗГИБАЕМОЙ ПЛАСТИНКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ МКЭ...8

В статье приведены результаты сравнительного анализа точности тонкой изгибаемой пластинки по МКЭ в форме классического смешанного метода (КСМ) и на основе МКЭ в перемещениях с использованием ПК ЛИРА САПР. Выполнен анализ результатов расчета для пластинок с несколькими типами граничных условий и представлением в виде ансамбля прямоугольных конечных элементов с 3 неизвестными в каждом узле. По результатам расчетов сделан вывод о точности и корректности расчетов по двум формам МКЭ. Приведены графики сходимости результатов расчета.

**Ключевые слова:** МКЭ в форме классического смешанного метода, расчет изгибаемых тонких пластин, МКЭ в форме перемещений, прямоугольный КЭ с различными типами граничных условий.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.8.17. **COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ACCURACY OF THE CALCULATION RESULTS OF A THIN BENDABLE PLATE USING VARIOUS FORMS OF FEM.** I.S. Zavyalov, Volgograd State Technical University; e-mail: is\_zavyalov@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a comparative analysis of the accuracy of a thin bending plate according to the FEM in the form of a classical mixed method (CSM) and based on the FEM in displacements using the SP LIRA SAPR. The analysis of calculation results for plates with several types of boundary conditions and representation in the form of an ensemble of rectangular finite elements with 3 unknowns at each node is performed. Based on the results of calculations, a conclusion was made about the accuracy and correctness of calculations using two forms of the FEM. Graphs of convergence of calculation results are given.

**Key words:** FEM in the form of a classical mixed method, calculation of bending thin plates, FEM in the form of displacements, rectangular FE with various types of boundary conditions.

УДК: 624.04\*074.4:539.41:513.73 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.18.27

С.Н. КРИВОШАПКО, д.т.н., О.О. АЛЕШИНА, к.т.н., В.Н. ИВАНОВ, д.т.н. Российский университет дружбы народов, г. Москва; e-mail: sn\_krivoshapko@mail.ru

#### СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОБОЛОЧЕК, ОЧЕРЧЕННЫХ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ С ГЛАВНЫМ КАРКАСОМ ИЗ ТРЕХ ЗАДАНЫХ СУПЕРЭЛЛИПСОВ...18

В статье предлагается использовать в архитектуре и строительстве поверхности, рекомендуемые для формирования корпусов речных и морских судов. Эти поверхности содержат заданный главный каркас из трех плоских кривых в форме суперэллипсов. Наличие трех габаритных размеров и шести произвольных показателей степеней в явных и параметрических уравнениях рассматриваемых поверхностей дает возможность получать огромное количество разнообразных форм этих поверхностей, имея только три уравнения. Задача конструктора – выбрать наиболее оптимальную, исходя из архитектурных требований и условий прочности. В статье показаны и проиллюстрированы принципы геометрического моделирования срединных поверхностей тонких оболочек рассматриваемого типа и представлена возможность их статического расчета с помощью МКЭ.

**Ключевые слова:** тонкая оболочка, статический расчет, гидродинамическая поверхность, суперэллипс, метод конечного элемента.

UDC: 624.04\*074.4:539.41:513.73 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.18.27 **STATIC ANALYSIS OF SHELLS WITH MIDDLE SURFACES CONTAINING THE MAIN FRAME FROM THREE GIVEN SUPERELLIPTSES.** S.N. Krivoshapko, O.O. Aleshina, V.N. Ivanov, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow; e-mail: sn\_krivoshapko@mail.ru

Abstract. In a paper, surfaces, recommended for forming hull shapes of river and sea ships, are supposed to use in architecture and building construction. These surfaces contain the given main frame from three plane curves in the form of superellipses. The presence of three overall dimensions and six arbitrary exponents in explicit and parametric equations of presented surfaces gives an opportunity to have large quantity of diverse forms of these surfaces, having only three equations. Designers must choose the most optimal surface taking into account architectural demands and strength conditions. In a paper, it is shown and illustrated the principles of geometric modeling of middle surfaces of thin shells of the offered type and an opportunity of their static analysis with the help of FEM is presented.

**Key words:** thin shell, static analysis, hydrodynamic surface, superellipse, FEM.

## [Динамические расчеты](#)

### [Dynamic calculation](#)

УДК 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.28.39

И.И. ИВАНЧЕНКО, д-р техн. наук, проф. Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ); e-mail: ivaii011@mtu-net.ru

## МЕТОД РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА И СКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ (к формированию норм для ВСМ)...28

Для расчета мостов на ВСМ при движении с переменной скоростью инерционной нагрузки (железнодорожных составов) предлагаются граничные элементы (ГЭ) для стержней на упругом основании. Для аппроксимации смещений при построении ГЭ используется набор линейных и тригонометрических функций. Граничные элементы применяются для расчета колебаний рельсового пути вне моста и пути на мосту, совместно со связанными через прослойки двухпутными балочными пролетными строениями, при скоростном движении произвольной силовой и инерционной нагрузок. Для построения методики используются, предложенные ранее автором статьи шаговый метод для решения задач неустановившейся динамики сооружений и метод расчета сооружений на действие подвижных силовых и инерционных нагрузок (метод узловых ускорений).

**Ключевые слова:** переменная скорость, шаговые процедуры, стержневые граничные элементы, рельсовый путь, мостовой переход, «метод узловых ускорений».

UDC 624.07.534.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.28.39. **THE CALCULATING METHOD FOR INTERACTION OF A BRIDGE CROSSING AND A HIGH-SPEED TRAIN AT**

**VARIABLE SPEED (ELABORATING STANDARDS FOR HIGH-SPEED RAILWAYS (HSR)).** I.I. Ivanchenko, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow; e-mail: ivaii011@mtu-net.ru

**Abstract.** Boundary elements for rods on an elastic base are proposed for the calculation of bridges on the HSR when moving at a variable speed of an inertial load (railway train). A set of linear and trigonometric functions is used to approximate the displacements at the construction of boundary elements. These elements are used to calculate the vibrations of the rail track outside the bridge and the track on the bridge, together with double-track girder superstructures connected through the interlayers at high-speed movement of arbitrary power and inertial loads. To construct the methodology, the step method proposed earlier by the author of the article for solving problems of unsteady dynamics of structures and the method of calculating structures for the action of mobile force and inertial loads (the method of nodal accelerations) are used.

**Key words:** variable speed, step procedures, rod boundary elements, rail track, bridge crossing, “nodal acceleration method”.

## [Сейсмические расчеты](#)

### [Seismic calculations](#)

УДК: 624.042.7 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.40.47

О.Б. САБИРОВА<sup>1</sup>, магистрант, Г.В. СОРОКИНА<sup>1</sup>, к.т.н., А.М. УЗДИН<sup>1</sup>, д.т.н., профессор, М.Ю. ФЕДОРОВА<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук <sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения, <sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет; e-mail: sabirovaanna95@yandex.ru

## СПОСОБЫ СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕЙСМОСТОЙКИХ СООРУЖЕНИЙ...40

Рассмотрены способы сочетания нагрузок при оценке усилий и других показателей работы сооружения. Основное внимание уделено двум способам: построению функции плотности распределения анализируемого фактора от одновременного действия нагрузок и анализу равновероятных пар рассматриваемых нагрузок. Показано, что указанные способы описываются разными уравнениями и приводят к разным результатам. Первый способ оказывается более консервативным. Отмечается неоднозначность задачи определения расчетного сочетания нагрузок. Выводы проиллюстрированы на простом примере.

**Ключевые слова:** коэффициенты сочетания нагрузок, сейсмостойкое сооружение, сейсмическая нагрузка, проектное землетрясение, метод предельных состояний, повторяемость нагрузки, многоуровневое проектирование.

UDC: 624.042.7 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.40.47. **METHODS FOR COMBINING LOADS IN THE DESIGN OF THE SEISMIC STABILITY STRUCTURES.** O.B.Sabirova<sup>1</sup>,

G.V.Sorokina<sup>1</sup>, A.M.Uzdin<sup>1</sup>, M.Yu.Fedorova<sup>2</sup>, <sup>1</sup>St.Petersburg State University of Railway Transport, <sup>2</sup>St.Petersburg State University; e-mail: sabirovaanna95@yandex.ru

**Abstract.** The ways of combining loads in evaluating strains and other indicators of the structure operation are considered. The main attention is paid to two methods: constructing the distribution density function of the analyzed factor caused by the simultaneous action of loads and the analysis of equiprobable pairs of the considered loads. It is shown that these methods are described by different equations and lead to different results. The first way is more conservative. The ambiguity of the task of determining the load design combination is noted. The conclusions are illustrated by a simple example.

**Key words:** load combination factors, seismic stability structure, seismic input, design earthquake, limit state method, load repeatability, multilevel design.

## [Расчеты на устойчивость](#)

### [Stability calculation](#)

УДК: 624.044 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.48.54

С.В. ОСЫКОВ, аспирант, А.В. ТРОФИМОВ, к.т.н. Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет; e-mail: osykovvv@gmail.com

## ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ КОНТАКТНОГО СЛОЯ НА ЖЕСТКОСТЬ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С

## РАЗЛИЧНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ...48

В сталежелезобетонных изгибаемых элементах деформативные характеристики материалов существенно различаются, что приводит к сдвигам в контактном слое и влияет на напряженно-деформированное состояние всей конструкции в целом. В работе представлено аналитическое выражение для определения параметра сцепления в сталежелезобетонных элементах при различных граничных условиях. Показан характер распределения силовых факторов в контактном слое таких конструкций. Оценен вклад податливости контактного слоя в общую жесткость составной конструкции. Произведено сравнение аналитических значений прогибов со значениями, полученными экспериментальным путем. Результаты сравнения показывают, что неучет податливости сцепления между элементами составной конструкции в актуальных на сегодняшний день нормативных документах не позволяет корректно оценить ее деформативность. Предложенная аналитическая модель может быть использована для определения жесткости сталежелезобетонных перекрытий.

**Ключевые слова:** сталежелезобетонная многопролетная балка, контактный слой, сдвиг, теория составных стержней, аналитическая модель, деформации.

UDC: 624.044 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.48.54. **INFLUENCE OF INTERFACIAL INTERACTION TO THE STIFFNESS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITES WITH**

**VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS UNDER BENDING MOMENTS.** S.V.Osykov, A.V.Trofimov, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: osykovvv@gmail.com

**Abstract.** Steel-concrete composite structures under bending moments have different deformation characteristics, which leads to interfacial slip and affects the stress-strain state of the entire structure as a whole. This paper presents an analytical expression for determining the friction capacity parameter in steel-concrete composite beam structures under various boundary conditions. The interfacial shear stress and interfacial shear force plot of such structures is shown. The contribution of the interfacial effect to the overall rigidity of the composite structure is estimated. The analytical values of the deflections are compared with the values obtained experimentally. The results of comparison show that neglecting the interfacial effect in current standards and guidelines leads to incorrect assessment of structural deformability. The proposed analytical model can be used to determine the stiffness of steel-concrete composite slabs.

**Key words:** steel-concrete continuous multi-span beam, interfacial interaction, slip, theory of built-up bars, analytical model, deformations.

## [В помощь проектировщику](#)

### [To help the designer](#)

УДК 624.012 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.55.60

А.Э. ХУДАЙНАТОВ<sup>1</sup>, инж., А.В. ЛОГВИНОВ<sup>1</sup>, инж., А.Ю. ИВАНОВА<sup>2</sup>, инж., Е.А. ПАВЛОВА<sup>2</sup>, инж. <sup>1</sup>ООО «ТД БРАЕР», г. Москва; e-mail: logvinov@braer.ru

<sup>2</sup>ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: 1701088@mail.ru

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КРУПНОФОРМАТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ НА СМЯТИЕ ПО РОССИЙСКИМ И ЕВРОПЕЙСКИМ НОРМАМ...55

Выполнен сравнительный анализ расчетных сечений кладки из керамического кирпича и крупноформатного керамического камня в соответствии с алгоритмом расчета на смятие (сосредоточенная нагрузка) по EN 1996-1-1 и российским стандартам. Указаны основные отличия при выполнении расчетов. Даны рекомендации по уточнению методики расчета на сосредоточенные нагрузки для кладки из крупноформатных керамических камней.

**Ключевые слова:** сравнительный анализ, местное сжатие, расчет на местную нагрузку, каменные конструкции.

UDC 624.012. **SPECIFICS OF CALCULATING MASONRY LAGE-FORMAT ORGANIC BLOCK STRUCTURES CRUSHING (CONCENTRATED LOAD) ACCORDING TO**

**RUSSIAN AND EUROPEAN STANDARDS.** A.E. Khudaynatov<sup>1</sup>, A.V. Logvinov<sup>1</sup>, A.Y. Ivanova<sup>2</sup>, E.A. Pavlova<sup>2</sup>, ILLC «Trade House BRAER», Moscow, 2TSNIISK named after

V.A. Kucherenko (JSC «SIC «Construction»), Moscow; e-mail: 1701088@mail.ru

**Abstract.** A comparative analysis of the design cross-sections of ceramic bricks and large-format ceramic masonry according to the EN 1996-1-1 buckling (concentrated load) calculation algorithm and Russian standards is carried out. The main differences in calculations are pointed out. Recommendations are given for refining the methodology of concentrated load calculation for masonry made of large-format ceramic block.

**Key words:** comparative analysis, local compression, calculation for local load, masonry structures.

## [Экспериментальные исследования](#)

### [Experimental studies](#)

УДК 694.141.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.61.68

С.Б. ТУРКОВСКИЙ, к.т.н., А.А. ПОГОРЕЛЬЦЕВ, к.т.н., В.О. СТОЯНОВ, к.т.н. ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: pogara@yandex.ru

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЗЛАМИ СИСТЕМЫ ЦНИИСК...61

Серийное производство клеенных деревянных конструкций (КДК) в России организовано в 1975 г. Конструктивная система «ЦНИИСК» создана и совершенствуется с 1975 г. Признаком системы является применение в узлах и стыках сборных КДК соединений на клеенных стержнях. Они применены в сотнях большепролетных зданий:

аквапарках, манежах, терминалах для удобрений, спортивных сооружениях, запроектированных в Лаборатории несущих деревянных конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Согласно Федеральному закону ФЗ №384 от 30.12.2009 конструкции этих сооружений подлежат натурным обследованиям и мониторингу. В статье приводятся систематизированные выводы о состоянии КДК по результатам их обследования. Характерными дефектами КДК являются расслоения по клеевым швам и трещины по древесине. Главные причины расслоений – условия эксплуатации с низкой относительной влажностью воздуха, нарушения технологии склеивания и ошибки в проектировании. Анализ состояния КДК позволил дать рекомендации по безопасной эксплуатации и предложения в нормы проектирования.

**Ключевые слова:** дефекты деревянных конструкций, расслоения, клеенные стержни, жесткие стыки, усушка древесины.

UDC 694.141.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.61.68. **EXPERIENCE IN THE OPERATION OF LARGE-SPAN LAMINATED TIMBER STRUCTURES WITH TSNIISK SYSTEM NODES.** S.B. Turkovskiy, A.A. Pogoreltsev, V.O. Stoyanov, TSNIISK named after V.A. Kucherenko. (JSC "SIC "Construction"), Moscow; e-mail: pogara@yandex.ru  
**Abstract.** Serial production of glued wooden structures (GWS) in Russia was organized in 1975. The structural system "TSNIISK" was created and improved since 1975. The feature of the system is the use of prefabricated GWS joints on glued rods in nodes and joints. They were applied in hundreds of large-span buildings: water parks, playpens, fertilizer terminals, sports facilities, which were designed in the Loadbearing wood structures of laboratory of TSNIISK named after V. A. Koucherenko. According to Federal Law FL No. 384 of 12/30/2009, the structures of these buildings are subject to field surveys and monitoring. The article presents systematized conclusions about the state of GWS based on the results of their examination. Characteristic defects of the GWS are delaminations along the adhesive seams and cracks along the wood. The main causes of delamination are operating conditions with low relative humidity, violations of bonding technology and design errors. The analysis of the state of the GWS allowed to form recommendations for safe operation and suggestions to the design standards.

**Key words:** defects in wooden structures, delaminations, glued-in rods, rigid joints, wood shrinkage.

[В порядке обсуждения](#)

[In order to discuss](#)

УДК 624.0722 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.69.74

**В.В. КАТЮШИН, канд. техн. наук** Научно-исследовательская и проектно-строительная фирма УНИКОН; e-mail: firm@uniconst.ru  
**КОНЦЕПЦИИ МЕТОДА РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНОМУ (НОРМИРОВАННОМУ) ПОВЕДЕНИЮ...69**

Для отдельных конструкций и конструктивных систем, обладающих выраженными нелинейными свойствами или свойствами, которые не описываются и не регламентируются действующими нормами расчета, например, для тонкостенных конструкций; для систем с большими деформациями; для расчетов на прогрессирующее обрушение и т.д., предлагается дополнить метод предельных состояний, описывающий конструктивные системы в стационарных состояниях дополнить или, в ряде случаев, заменить ограничениями по ее предельному (нормированному) поведению ее элементов и узлов во времени и определяемых предельно допустимыми градиентами реакций системы от изменяющегося внешнего воздействия.

**Ключевые слова:** предельные состояния, предельное (нормированное) поведение, градиенты реакций строительной системы; нелинейность, прогрессирующее обрушение.

UDC 624.0722 DOI: 10.37538/0039-2383.2022.6.69.74. **CONCEPTS OF THE CALCULATION METHOD FOR STRUCTURES ACCORDING TO THE**

**LIMIT (NORMALIZED) BEHAVIOR.** V.V. Katyushin, Scientific Research and Design&Construction company UNICON; e-mail: firm@uniconst.ru.

**Abstract.** For individual structures and structural systems that have pronounced non-linear properties or properties that are not described or regulated by the current calculation standards, for example, for thin-walled structures; for systems with large deformations; for calculations for progressive collapse, etc., it is proposed to supplement the method of limit states, which describes structural systems in stationary states, to supplement or, in some cases, replace it with restrictions on its limiting (normalized) behavior of its elements and nodes in time and determined by the limit allowable gradients of system responses from changing external influences.

**Key words:** limiting states, limit (normalized) behavior, reaction gradients of construction system; non-linearity, progressive collapse.