



№ 1 за 2023 год

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 539.3.624.13 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.2.6

С.В. БОСАКОВ, д.т.н., проф. Белорусский национальный технический университет, г.Минск, Республика Беларусь, e-mail: sevibo@yahoo.com

КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ В ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТАХ...2

В рассматриваемой работе впервые рассматривается задача о расчете способом Жемочкина прямоугольной пластинки на упругом основании в полярных координатах. Такие задачи возникают, например, при опирании металлических колонн кольцевого сечения на прямоугольные базы, лежащие на бетонном основании. При решении поставленной задачи использовались участки Жемочкина в полярной форме нескольких типов. Для определения перемещений упругого основания от единичной силы, распределенной по участку Жемочкина сложной формы, широко использовался принцип Сен-Венана. Рассмотрены два примера: квадратная пластинка на упругом основании и прямоугольная пластинка также на упругом основании. В последнем примере наряду с участками Жемочкина в полярных координатах применялись участки прямоугольной формы. Получены численные результаты, показывающие явление уменьшения контактных напряжений в местах вблизи углов пластинки.

Ключевые слова: упругое основание, осадки, контактные напряжения, пластинка, контактная задача, способ Жемочкина.

UDC 539.3.624.13 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.2.6. **CONTACT PROBLEM FOR A RECTANGULAR PLATE ON ELASTIC SEEDING IN POLAR COORDINATES.** S.V.

BOSAKOV, doctor. technical sciences., prof. Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: sevibo@yahoo.com

Abstract. In this paper, the problem of calculating a rectangular plate on an elastic base in polar coordinates by the Zhemochkin method is considered for the first time. Such problems arise, for example, when metal columns of circular cross-section are supported on rectangular bases lying on a concrete base. When solving this problem, several types of Zhemochkin plots in polar form were used. The Saint-Venant principle was widely used to determine the displacements of the elastic base from a single force distributed over a complex-shaped Zhemochkin section. Two examples are considered: a square plate on an elastic base and a rectangular plate also on an elastic base. In the last example, along with the Zhemochkin sections, rectangular sections were used in polar coordinates. Numerical results are obtained showing the phenomenon of decreasing contact stresses in places near the corners of the plate.

Key words: elastic base, precipitation, contact stresses, plate, contact problem, Zhemochkin method.

УДК 624.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.7.14

М.В. СУХОТЕРИН¹, д.т.н., доц., Л.Н. КОНДРАТЬЕВА², д.т.н., проф., И.В. ВОЙТКО¹, к.т.н., доц., Е.М. ПАСТУШОК¹, доц. ¹Государственный университет морского и

речного флота имени адмирала С.О. Макарова, ²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: sukhoterinmv@gumrf.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТ АНТИСИММЕТРИЧНЫХ ФОРМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ CFCF-ПЛАСТИНЫ...7

Для отыскания собственных частот антисимметричных форм колебаний прямоугольной пластины, две противоположные стороны которой зашпелены, а две другие свободны (CFCF-пластина), предложен метод перебора значений частоты («метод стрельбы») в сочетании с методом последовательных приближений. Функция прогибов представлена двумя гипербола-тригонометрическими рядами по двум координатам. При выполнении всех условий краевой задачи получена однородная бесконечная СЛАУ (система линейных алгебраических уравнений) относительно неопределенных коэффициентов указанных рядов, которая содержит в качестве параметра частоту колебаний. Для отыскания нетривиальных решений соответствующей редуцированной системы организован итерационный процесс перебора параметра. Численные результаты получены для первых двух антисимметричных собственных форм квадратной пластины. Исследовано влияние на точность результатов количества членов рядов и числа итераций. Дается сравнение с результатами других авторов и экспериментальными данными.

Ключевые слова: прямоугольная CFCF-пластина, антисимметричные колебания, собственные частоты, гипербола-тригонометрические ряды, итерационный процесс.

UDC 624.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.7.14. **DETERMINATION OF THE FREQUENCY OF ANTISYMMETRIC FORMS OF FREE OSCILLATIONS OF A RECTANGULAR CFCF – PLATE.** M.V. Sukhoterin¹, L.N. Kondratjeva², I.V. Voytko¹, E.M. Pastushok¹, ¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg, Russia; ²Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: sukhoterinmv@gumrf.ru

Abstract. To find the natural frequencies of antisymmetric oscillation patterns of a rectangular plate, two opposite sides of which are pinned and the other two are free (CFCF plate), a method of sorting frequency values («shooting method») in combination with the method of successive approximations is proposed. The deflection function is represented by two hyperbola-trigonometric series along two coordinates. When all the conditions of the boundary value problem are met, a homogeneous infinite system of linear algebraic equations is obtained with respect to the indeterminate coefficients of these series, which contains the oscillation frequency as a parameter. To find nontrivial solutions of the corresponding reduced system, an iterative process of parameter iteration is organized. Numerical results are obtained for the first two antisymmetric eigenforms. The influence of the number of series terms and the number of iterations on the accuracy of the results is investigated. A comparison with the results of other authors and experimental data is given.

Key words: rectangular CFCF-plate, antisymmetric oscillations, natural frequencies, hyperbolic-trigonometric series, iterative process.

[Численные расчеты](#)

[Numerical calculations](#)

УДК 624.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.15.19

Д.Н. НИЗОМОВ¹, д.т.н., проф., А.И. ДАДАБОВЕВ², ст. преподаватель ¹Национальная академия наук Таджикистана, респ. Таджикистан, г. Душанбе; e-mail: ties@mail.ru;

²Таджикский технический университет и. ак. М.С. Осими, респ. Таджикистан, г. Худжанд; e-mail: dadaboev61@inbox.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ...15

В статье приводятся результаты численного моделирования плоской задачи теории упругости методом граничных интегральных уравнений. Разработанный алгоритм реализован на примере квадратной балки-стенки от действия горизонтальной распределенной нагрузки. Результаты численного моделирования сопоставлены с известными решениями.

Ключевые слова: балка-стенка, граничные уравнения, интерполяция, кубическая аппроксимация, тангенциальные напряжения.

UDC 624.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.15.19. **NUMERICAL SIMULATION OF THE PLANE STRESS STATE OF A RECTANGULAR PLATE BY THE METHOD OF BOUNDARY EQUATIONS.** D.N. Nizomov¹, A.I. Dadaboev², National Academy of Sciences of Tajikistan, Republic of Tajikistan, Dushanbe; e-mail: ties@mail.ru, Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi, Republic of Tajikistan, Khujand, e-mail: dadaboev61@inbox.ru.

The article presents the results of numerical simulation of a plane problem of elasticity theory by the method of boundary integral equations. The developed algorithm is implemented on the example of a square beam-wall from the action of a horizontal distributed load. The results of numerical simulation are compared with known solutions.

Key words: beam-wall, boundary equations, interpolation, cubic approximation, tangential stresses.

[Расчеты на надежность](#)

[Reliability calculations](#)

УДК 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.1.20.27

А.А. СОЛОВЬЕВА, асп., преподаватель, Вологодский государственный университет; e-mail: solovevaaa@vogu35.ru

МЕТОД ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ НА ОСНОВЕ Р-БЛОКОВ...20

В статье рассмотрен новый подход к вероятностному анализу надежности узлов стальных ферм с использованием р-блоков. Р-блок представляет собой область, сформированную двумя граничными функциями распределения вероятностей, внутри которой располагается действительная функция распределения вероятностей, которая неизвестна вследствие эпистемологической неопределенности статистических данных. В работе демонстрируется алгоритм арифметических действий с р-блоками путем их дискретизации в структуры типа Демпстера-Шефера. Информация о вероятности безотказной работы узлов ферм является необходимой для рассмотрения надежности фермы как механической последовательной системы в терминах теории надежности. Использование р-блоков позволяет получить более достоверную и осторожную модель случайной величины вследствие отсутствия необходимости принятия отдельных статистических гипотез о виде распределения вероятностей различных случайных величин в математических моделях.

Ключевые слова: надежность, р-блоки, узлы, ферма, вероятность безотказной работы, неопределенность, случайная нагрузка, безопасность.

UDC 624.046.5 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.1.20.27. **A METHOD FOR STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF TRUSSES' JOINTS BASED ON P-BOXES.** A.A. Soloveva, Vologda State University; e-mail: solovevaaa@vogu35.ru

Abstract. The article presents a new approach to probabilistic analysis of reliability for steel trusses' joints based on p-boxes. The p-box is an area formed by two boundary cumulative distribution functions (CDFs) inside which there is a real cumulative distribution function (which is unknown due to the epistemic uncertainty of statistical data). The research demonstrates an algorithm for arithmetic operations with p-boxes by discretizing them into the Dempster-Shafer structures. Information about the failure probability of trusses' joints is necessary to consider the truss reliability as a mechanical serial system in terms of reliability theory. The use of p-boxes makes it possible to obtain a more cautious model of a random variable due to the absence of the need to adopt some statistical hypotheses about the type of probability distribution of various random variables in mathematical models.

Key words: reliability, p-boxes, joints, truss, failure probability, uncertainty, random load, safety.

[Нелинейные расчеты](#)

[Nonlinear calculations](#)

УДК 531 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.28.32

В.И. АНДРЕЕВ, д.т.н., И.М.ПОЛЯКОВА, к.т.н. НИУ МГСУ, Москва; e-mail: asv@mgsu.ru

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ «КРЕПЬ–МАССИВ ГРУНТА» НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ...28

В статье рассмотрена задача цилиндрического отверстия в массиве грунта на большой глубине, в слабых обводненных грунтах, т.е. массив рассматривался как несжимаемый материал с коэффициентом Пуассона $\nu = 0.5$. Проведен расчет с целью определить влияние функции неоднородности механических характеристик на напряженное состояние системы «крепь-массив грунта». Задача рассматривалась как одномерный случай плоского деформированного состояния. В работе были рассмотрены задачи при всех возможных комбинациях трех случаев функций модулей Юнга крепи ЕК и четырех случаев модулей упругости массива грунта ЕМ. По результатам расчета был проведен анализ, на основании которого были сделаны следующие выводы: напряженные состояния системы «крепь – массив грунта» практически не зависят от функции модуля Юнга грунта $E_M(\gamma)$, что может быть связано с довольно низкими значениями, которые принимает модуль упругости массива грунта, в сравнении с модулем упругости крепи. Функции модуля упругости крепи $E_K(\gamma)$ влияют на напряженное состояние самой крепи и мало влияют на напряженное состояние в массиве грунта. При уменьшении значения $E_K(\gamma)$ на границе отверстия уменьшаются и напряжения. На основании сделанных выводов можно сказать, что при создании неоднородных обделок можно получить случай равнонапряженного или равнопрочного состояния крепи [1, 8], что в свою очередь может привести к существенному экономическому эффекту.

Ключевые слова: неоднородные тела; подземная полость; плоское деформированное состояние; плоская задача; укрепленное отверстие.

UDC 531 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.28.32. **INFLUENCE OF THE HETEROGENEOUS OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE SYSTEM "LINING-SOIL MASSIF" ON THE STRESSED STATE.** V.I.Andreev, I.M.Poliakova Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, 26 Yaroslavskoye shosse.

The problem of a cylindrical hole in the soil massif at a great depth, in weak flooded soils, i.e. the array was considered as an incompressible material with a Poisson's ratio $\nu = 0.5$. The calculation was carried out in order to determine the influence of the function of heterogeneity of the mechanical characteristics on the stress state of the "support-soil mass" system. The problem was considered as a one-dimensional case of a plane deformed state. In this work, we considered problems for all possible combinations of the three cases of functions of Young's support modules and four cases of elastic moduli of the soil massif. Based on the calculation results, an analysis was carried out on the basis of which the following conclusions were made: the stress state of the lining - soil mass system is practically independent of the function of the Young's modulus of the soil, which may be due to the rather low values that the modulus of elasticity of the soil massif assumes, in comparison with the modulus of elasticity of the lining. Functions of the modulus of support affect the stress state of the lining itself and have little effect on the stress state in the soil massif. When decreasing at the hole boundary, stresses also decrease. Based on the conclusions made, it can be said that when creating inhomogeneous lining it is possible to obtain a case of an equally stressed or equal strength state of lining [1, 8], which in turn can lead to a significant economic effect.

Key words: heterogeneous bodies; stress state; underground cavity; flat deformed state; flat task; reinforced hole.

УДК 539.376+539.4 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.33.38

И.А. КУПРИЯНОВ, к.т.н., Н.А. МАСЛЕННИКОВ, к.т.н. СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург; e-mail: igor.al.kupriyanov@yandex.ru

ОПИСАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ И НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕРМОПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА НА ОСНОВЕ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ...33

В настоящей статье рассматривается выделение линейной и нелинейной составляющих деформаций термоползучести на основе энергетической теории нелинейной ползучести и длительной прочности, предложенной В.Д. Харлабом. Для теоретического описания термоползучести бетона использована реологическая модель с переменным, зависящим от температуры числом упругих и вязких связей (В.Д. Харлаб, И.А. Куприянов). Анализом числовых расчетов подтверждено допущение о независимости нелинейной составляющей ползучести от температуры. Результаты рекомендуются для использования при проектировании бетонных сооружений, работающих в условиях температурных перепадов.

Ключевые слова: термоползучесть, бетон, нелинейная ползучесть, реологическая модель, энергетическая теория.

UDC 539.376+539.4 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.33.38. **DESCRIPTION OF LINEAR AND NONLINEAR THERMAL CREEP OF CONCRETE BASED ON RHEOLOGICAL MODEL AND ENERGY THEORY OF NONLINEAR CREEP.** I. A. Kupriyanov, I. A. Maslennikov, SPbGASU, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4.

This article discusses the isolation of linear and nonlinear components of thermal creep deformations on the basis of the energy theory of nonlinear creep and prolonged strength proposed by V.D. Harlab. For the theoretical description of the thermal creep of concrete, a rheo-logical model with a variable number of elastic and viscous bonds (V.D. Harlab, I.A. Kupriyanov) was used. Analysis of numerical calculations confirmed the assumption that the nonlinear component of creep is independent of temperature. The results are recommended for use in the design of concrete structures operating in conditions of temperature changes.

Key words: thermal creep, concrete, nonlinear creep, rheological model, energy theory.

УДК 624.072.014.2 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.39.44

А.И. ПРИТЫКИН^{1,2}, д.т.н. ¹Калининградский государственный технический университет; e-mail: prit_alex@mail.ru, ²Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ СДВИГЕ СТАЛЬНЫХ БАЛОК-СТЕНОК С КРУГЛЫМИ ВЫРЕЗАМИ...39

Несмотря на полувековой опыт применения перфорированных балок, местная устойчивость их до конца не изучена и в справочной литературе не приводятся расчетные зависимости для их критических нагрузок, соответствующих вылучиванию стенок от сдвига. В работе проведен численный анализ методом конечных элементов местной устойчивости свободно опертых стальных перфорированных балок-стенок с круглыми вырезами. Рассмотрен вариант нагружения сосредоточенной силой в пролете. Получены эмпирические зависимости для критических нагрузок, позволяющие учесть влияние параметров перфорации на потерю устойчивости перемычек от сдвига. Расчеты МКЭ подтвердили удовлетворительную точность указанных зависимостей.

Ключевые слова: местная устойчивость, сдвиг, балка-стенка, критическая нагрузка, эмпирическая зависимость, МКЭ.

UDC 624.072.014.2 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.39.44. **ANALYSIS OF SHEAR BUCKLING OF STEEL BEAM-WEB WITH CIRCULAR OPENINGS.** A.I. Pritykin^{1,2}.

¹Kaliningrad State Technical University; e-mail: prit_alex@mail.ru, ²Immanuel Kant Baltic Federal University.

Abstract. In spite of half century experience of application of perforated beams the local buckling of their webposts is not finally researched till now. In manuals there is no relations for their critical loads corresponding to buckling of web-posts under shear. In the study the numerical analysis by the finite element method is performed for evaluating the local stability of simply supported cellular beam-webs with circular openings. Variant of loading of beam with concentrated force was considered, which assure constant value of shear force along the length of beam. Obtained empirical relation allow take into account not only parameters of perforation but influence also of bending moment on the shear buckling of web-posts. Analysis by FEM also confirmed permitted accuracy of analytical approach to evaluation of stability of web-posts.

Key words: local stability, shear, beam-web, critical load, empirical relation, FEM.

[Экспериментальные исследования](#)

[Experimental studies](#)

УДК 69.07.624.014.2 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.45.55

Ю.В. АРЕФЬЕВ¹, доц., Д.В. КОНИН², к.т.н., Е.В. БАЖИНА³, к.т.н., доц., А.В. МАЛКИН², инженер ¹ООО «Технический центр «Сварка и контроль в строительстве», г. Москва; e-mail: jurvas@mail.ru, ²АО «НИЦ «Строительство», ³МГСУ, УМЦ гидротехнического и энергетического строительства, г. Москва

ДИАГНОСТИКА НАПРЯЖЕННО-УСТАЛОСТНОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ...45

Данная работа показала эффективность коэрцитивной диагностики, и метод может быть рекомендован как первичное обследование металлоконструкций с целью выявления проблемных зон и дальнейшего целевого применения традиционных методов неразрушающего контроля для более углубленного обследования этих зон металлоконструкций. Расчетные модели, по которым получают значения действующих нагрузок в узлах и элементах конструкции, обычно не учитывают погрешности технологических операций при изготовлении и последующей сборке металлоконструкций. Была проведена экспериментальная работа по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов металлоконструкций офисно-жилого здания, несущий каркас которого выполнен из прокатных и сварных профилей из стали С440. НДС определяли методом измерения коэрцитивной силы согласно требованиям ГОСТ Р 58599-2019 в зонах и узлах, в которых по данным проектных расчетов получены максимальные напряжения, близкие к пределу текучести для стали С440.

Ключевые слова: коэрцитивная сила, коэрцитиметрия, обследование, стальные конструкции, усилия в элементах.

UDC 69.07.624.014.2 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.45.55. **DIAGNOSTICS OF STRESS-FATIGUE CONDITION OF STEEL STRUCTURES OF A MULTI-STORY BUILDING.** Y.V. Arefyev, D.V. Konin¹, E.V. Bazhina, A.V. Malkin, ¹JSC Research Center of Construction, Moscow; kondex@inbox.ru

This work has shown the effectiveness of coercive diagnostics. The method can be recommended as an initial examination of metal structures in order to identify problem areas and further application of traditional methods of non-destructive testing for a more in-depth examination of these areas of metal structures. Calculation models for obtaining load values in the nodes and structural elements usually do not take into account the errors of technological operations in the manufacture and subsequent assembly of metal structures. Experimental work to determine the stress-strain state of the elements of metal structures of office and residential building was carried out. The supporting steel frame of the building is made of rolled and welded profiles made of C440 steel, using the method of measuring coercive force. Stress-strain state was determined by measuring the coercive force according to the requirements of ГОСТ Р 58599-2019 in zones and nodes where maximum stresses close to the yield strength of steel C440 were obtained.

Key words: coercive force, coercimetry, inspection of technical condition, steel structures, forces in elements.

УДК 624.011.1 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.56.64

П.Г. РОМАНОВ, к.т.н., доцент, П.В. СИВЦЕВ, канд. физ.-мат. наук, доцент Северо-Восточный Федеральный Университет им. М.К. Аммосова; e-mail: pg.romanov@mail.ru

ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИСПЫТАНИЯМ НА СДВИГ ПЕРЕКРЕСТНО-СКЛЕЕННОГО ДЕРЕВЯННОГО ЭЛЕМЕНТА...56

Численный эксперимент по испытаниям на сдвиг модели деревянной CLT-панели выявил возможность визуализации волнового процесса распространения напряжений и деформаций. Деформирование как непрерывный во времени процесс описывается дискретно, с минимальными временными этапами, с визуальным отображением видеоряда положений в пространстве геометрического места тензоров касательных деформаций. Качественная и количественная непрерывная волновая картина напряжений показывает участки объема модели, где возникают и перемещаются волны напряжений и деформаций. Визуализированы изоповерхности напряжений. Сделан вывод о возможности разбиения ожидаемых в численном эксперименте значений напряжений на сколько угодно узкие интервалы и по отдельности отслеживать эти процессы в численных моделях.

Ключевые слова: моделирование сдвига в CLT-панелях, волны напряжений, волны деформаций, деревянные конструкции, визуализация волн напряжений и деформаций.

Abstract. A numerical experiment on shear tests of a model of a wooden CLT-panel revealed the possibility of visualizing the wave process of stress and strain propagation. Deformation as a process continuous in time is described discretely, in minimal time steps, with a visual display of a video sequence of positions in the space of the locus of tangent strain tensors. A qualitative and quantitative continuous wave pattern of stresses shows areas of the model volume where stress and strain waves arise and move. Stress isosurfaces are visualized. It is concluded that it is possible to divide the stress values expected in the numerical experiment into arbitrarily narrow intervals and separately monitor these processes in numerical models.

Key words: shear modeling in CLT-panels, stress waves, strain waves, timber structures, visualization of stress and strain waves.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.072.2.014 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.65.74

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЯ КРУГЛЫХ ТРУБ В ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ ДЛЯ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...65

Представлен новый способ перепрофилирования круглых труб в прямоугольные с отношением размеров ширины к высоте 1/3 по средней линии расчетного сечения, что в максимальной степени повышает их несущую способность на изгиб. Приведен расчет оптимальных параметров тонкостенных сечений прямоугольной формы по приближенной методике, корректность которой подтверждена тестированием с использованных стандартных профилей. Показана вся диаграмма изменений расчетных параметров прямоугольных труб при трансформации их поперечных сечений от вертикальных конфигураций к горизонтальным, включая переход через очертание квадратной формы. Выполнен сравнительный анализ оптимизированных сечений овальных, плоскоовальных, полуплоскоовальных и прямоугольных труб с учетом их упругих деформаций. Еще раз отмечено, что для достижения наибольшей несущей способности на изгиб овальных профилей, а также всех других, не допустимо перепрофилирование круглых труб с увеличением протяженностей средних линий их поперечных сечений. Обоснован выбор в пользу прямоугольных профильных труб за счет их более простой формы, включающей только плоские грани (вертикальные и горизонтальные), сравнительно низкой себестоимости, меньшей высоты, большей компактности, повышенного момента сопротивления.

Ключевые слова: способ перепрофилирования, трубчатые профили, профильные трубы, гнутосварные профили, прямоугольник, овал, плоскоовал, полуплоскоовал, оптимизация сечений, расчет оптимальных параметров, балочные конструкции.

UDC 624.072.2.014 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.65.74. OPTIMIZATION OF RE-PROFILING ROUND PIPES INTO RECTANGULAR ONES FOR BEAM STRUCTURES. A.S.

Marutyayn, the Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Branch of the North Caucasus Federal University, Pyatigorsk. e-mail: al_marut@mail.ru.

The article presents a new method of converting round pipes into rectangular ones where the width to the height is 1:3 along the median line of the design section. It maximizes their bending bearing capacity. The calculation of optimal parameters of thin-walled rectangular cross sections is given according to the approximate method, the correctness of which is confirmed by testing the used standard profiles. The entire diagram of changes in the design parameters of rectangular pipes during the transformation of their cross sections from vertical to horizontal configurations, including the transition through the outline of a square shape, is shown. A comparative analysis of optimized cross-sections of oval, plane-oval, semi-plane oval and rectangular pipes, taking into account their elastic deformations, is performed. It is once again noted that in order to achieve the greatest bearing capacity for bending oval profiles, as well as all others, it is not permissible to re-profile round pipes with an increase in the length of the middle lines of their cross-sections. The choice in favor of rectangular profile pipes is justified due to their simpler shape, including only plane faces (vertical and horizontal), relatively low cost, lower height, greater compactness, increased moment of resistance.

Key words: method of re-profiling, tubular profiles, profile pipes, bent-welded profiles, rectangle, oval, semiplane oval, optimization of sections, calculation of optimal parameters, beam structures.

УДК 624.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.75.78

Ю.М. ИВАНОВ, к.т.н., преподаватель, ВКА им. А.Ф. Можайского, e-mail: vka@mil.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СНИЖЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ СООРУЖЕНИЯ...75

Статья посвящена актуальной проблеме, связанной с обоснованным учетом изменения жесткостных характеристик стержневых элементов в конечно-элементных моделях при расчете зданий и сооружений из монолитного железобетона. Предлагаемый в статье подход направлен на выполнение требований СП 63.133330-2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» и СП 430.1325800.201 «Монолитные конструктивные системы». Раскрыты последовательность и содержание этапов решения задачи по определению условных коэффициентов снижения жесткости. На примере представлены результаты расчета условных коэффициентов снижения жесткости и модуля деформации бетона. Показана область изменения коэффициентов и модуля деформации для заданного уровня нагружения сооружения и конструкции. Показано, как изменение жесткости конечных элементов влияет на перераспределение изгибающих моментов в балочной конструкции по сравнению с расчетной моделью с начальной жесткостью одинаковой для всех конечных элементов модели.

Ключевые слова: условные коэффициенты снижения жесткости, нелинейные жесткостные характеристики конечных элементов, нелинейная деформационная модель, монолитная конструктивная система, секущий модуль деформации бетона, расчетные сочетания усилий.

UDC 624.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.1.75.78. DETERMINATION OF CONDITIONAL COEFFICIENTS FOR REDUCING THE RIGIDITY OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN THE FINITE ELEMENT MODEL OF THE STRUCTURE. Yu.M. Ivanov, lecturer, A.F. Mozhaisky Military Space Academy.

The article is devoted to an urgent problem related to the reasonable consideration of changes in the stiffness characteristics of core elements in finite element models when calculating buildings and structures made of monolith reinforced concrete. The approach proposed in the article is aimed at meeting the requirements of SP 63.133330-2018 "Concrete and reinforced concrete structures" and SP 430.1325800.201 "Monolithic structural systems". The sequence and content of the stages of solving the problem of determining conditional coefficients of stiffness reduction are disclosed. The results of calculation of conditional coefficients of stiffness reduction and modulus of concrete deformation are presented on the example. The area of variation of the coefficients and modulus of deformation for a given level of loading of the structure and structure is shown. It is shown how the change in the stiffness of the finite elements affects the redistribution of bending moments in the beam structure in comparison with the calculated model with the initial stiffness of the same for all finite elements of the model.

Key words: conditional coefficients of stiffness reduction, nonlinear stiffness characteristics of finite elements, nonlinear deformation model, monolithic structural system, secant mode of concrete deformation, calculated combinations of forces.

№ 2 за 2023 год

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 624.073 DOI 10.37538/0039-2383.2023.2.2.10

Е.Б. КОРЕНЕВА¹, д.т.н., проф., В.Р. ГРОСМАН², ¹Московское высшее общевойсковое командное орденов Жукова, Ленина и Октябрьской Революции

Краснознаменное училище, ²АВТ – филиал РУТ; e-mail: elena.koreneva2010@yandex.ru

РАСЧЕТ УЧАСТКА ВЫСОКОГОРНОЙ ДОРОГИ, ПРИМЫКАЮЩЕГО К СКАЛЕ...2

Рассмотрим расчет участка высокогорной дороги, который с одной стороны примыкает к скальной породе. При этом указанный фрагмент дороги опирается на высокие мощные колонны. Данный участок рассматривается как полубесконечная консольная плита, изготовленная либо из изотропного, либо из конструктивно-ортотропного материала. Предполагается, что толщина изучаемой плиты изменяется в одном из направлений и является переменной. В работе предлагается аналитическая методика расчета подобных конструкций. Влияние действия колонн на полубесконечную плиту переменной толщины рассматривается как действие системы сосредоточенных сил или, в зависимости от характера поперечного сечения колонн, как система нагрузок, распределенных по площадям прямоугольников либо по длинам отрезков. Решения поставленных задач получены в замкнутом виде.

Ключевые слова: высокогорная дорога, полубесконечная плита, переменная толщина, опорные колонны.

UDC 624.073 DOI 10.37538/0039-2383.2023.2.2.10. COMPUTATION OF THE SEGMENT OF A HIGHWAY LOCATED IN MOUNTAINS. E.B. Koreneva¹, V.R. Grosman², ¹Moscow State Higher Combined-Arms Academy, ²Academy of Water Transport; e-mail: elena.koreneva2010@yandex.ru.

Abstract. The segment of a highway located in mountains is under investigation. One side of the segment under study adjoins to the rock. This construction under examination is based on high-capacity columns. This segment is considered as semi-infinite cantilever plate made from isotropic or constructive-orthotropic material. It is assumed that the thickness of this plate varies in one direction. The present work suggests the analytical method of computation. An influence of columns on the semi-infinite cantilever plate with varying thickness is considered as an action of a system of concentrated forces or systems of forces distributed along short straight lines and over surfaces of rectangles. The solutions are received in closed forms.

Key words: highway, semi-infinite cantilever plate, variable thickness, supporting columns.

УДК 624.35; 531.391.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.2.11.17

М.Н. КИРСАНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф., А.Н. МАСЛОВ, НИУ МЭИ, г. Москва, e-mail: c216@ya.ru

ФОРМУЛА ДЛЯ НИЖНЕЙ ОЦЕНКИ ПЕРВОЙ ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ФЕРМЫ ТРЕХГРАННОЙ БАШНИ...11

Предлагается схема статической определимой пространственной фермы башенного типа. Три боковые грани конструкции имеют двойные раскосные решетки, снизу ферма опирается на шесть стоек и три дополнительные боковые горизонтальные связи. Решается задача о первой собственной частоте свободных колебаний конструкции. Инерционные свойства фермы моделируются массами в ее узлах. Каждая масса имеет две степени свободы по горизонтали. Для получения аналитического выражения зависимости нижней границы частоты колебаний от числа панелей используется приближенный метод Донкерлея. Усилия в стержнях фермы находятся из решения системы уравнений равновесия узлов. Матрица системы уравнений составляется в системе компьютерной математики Maple. Жесткость конструкции определяется с применением интеграла Мора. Серия решений, полученных для разного числа панелей, обобщается на произвольный случай методом индукции. Для последовательностей коэффициентов в решении составляются и решаются линейные рекуррентные уравнения. Аналитическое решение сравнивается с численным решением задачи о спектре колебаний конструкции.

Показано, что первая частота спектра выше аналитической оценки не более чем на 30%. Точность оценки зависит в большей степени от числа панелей. С увеличением числа панелей точность полученной оценки растет. Рассматривается ферма только с четным числом панелей. Замечено, что при нечетном числе панелей определитель системы уравнений равновесия узлов обращается в ноль, что свидетельствует о кинематическом вырождении конструкции.

Ключевые слова: пространственная ферма, система компьютерной математики, индукция, число панелей, первая частота колебаний, нижняя оценка, кинематическое вырождение.
UDC 624.35; 531.391.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.2.11.17. **FORMULA FOR A LOWER BOUND FOR THE FIRST NATURAL FREQUENCY OF A TRIHEDRAL TOWER TRUSS.** M.N. Kirsanov, A.N. Maslov, National Research University "MPEI"; e-mail: e216@ya.ru

Abstract. A scheme of a statically determinate tower-type spatial truss is proposed. Three lateral faces of the structure have double diagonal lattices, from below the truss rests on six racks and three additional horizontal lateral braces. The problem of the first natural frequency of free oscillations of the structure is solved. The inertial properties of the truss are modeled by the masses in its nodes. Each mass has two horizontal degrees of freedom. To obtain an analytical expression for the dependence of the lower limit of the oscillation frequency on the number of panels, the approximate Dunkerley method is used. The forces in the truss rods are found from the solution of the system of equilibrium equations for the nodes. The matrix of the system of equations is compiled in the Maple computer mathematics system. The rigidity of the structure is determined using the Mohr integral. A series of solutions obtained for a different number of panels is generalized to an arbitrary case by induction. For sequences of coefficients in the solution, linear recurrent equations are compiled and solved. The analytical solution is compared with the numerical solution of the problem of the vibration spectrum of the structure. It is shown that the first frequency of the spectrum is higher than the analytical estimate by no more than 30%. The accuracy of the estimate depends to a greater extent on the number of panels. As the number of panels increases, the accuracy of the resulting estimate increases. A trusses with only an even number of panels are considered. It is noticed that with an odd number of panels, the determinant of the system of equilibrium equations of nodes vanishes, which indicates the kinematic degeneration of the structure.

Keywords: spatial truss, computer mathematics system, induction, number of panels, first vibration frequency, lower bound, kinematic degeneration.

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

УДК: 621.315.176 DOI 10.37538/0039-2383.2023.2.18.28

В.В. МИЩЕНКО АО «Ленгидропроект»; e-mail: MishchenkoVV@lhp.ru

ГИБКИЕ СВЯЗИ: ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ...18

В статье представлена расчетная модель, которая, по мнению автора, наиболее адекватно отражает работу строительных элементов, заменяемых в процессе инженерного анализа гибкими связями. Введено понятие «монтажного удлинения» гибкого элемента, значение которого в полном объеме определяет поведение гибкой связи после монтажа. На основании предлагаемой модели возможно получить характеристики жесткости гибких связей для расчета строительных конструкций при помощи существующих САПР [1,2].

Ключевые слова: расчетная схема, гибкая нить, жесткость элемента на растяжение.

UDC: 621.315.176 DOI 10.37538/0039-2383.2023.2.18.28. **FLEXIBLE CONNECTIONS: BASIC EQUATIONS AND DESIGN CHARACTERISTICS.** V.V. Mishchenko, JSC "Lengidroproekt"; e-mail: MishchenkoVV@lhp.ru

The article presents a calculation model, which, according to the author, most adequately reflects the work of building elements replaced in the process of engineering analysis by flexible connections. The concept of "mounting extension" of a flexible element is introduced, the value of which fully determines the behavior of the flexible connection after installation. Based on the proposed model, it is possible to obtain the stiffness characteristics of flexible connections for the calculation of building structures using existing CAD systems [1,2].

Key words: calculation scheme, flexible thread, tensile stiffness of the element.

[Сейсмические расчеты](#)
[Seismic calculations](#)

УДК: 624.042.7 DOI 10.37538/0039-2383.2023.2.29.37

А.М.УЗДИН¹, д.т.н., проф., Х.Н.МАЗЖИЕВ², д.т.н., проф., Г.В.СОРОКИНА¹, к.т.н., доцент, И.О.КУЗНЕЦОВА¹, к.т.н., доцент, Н.В.НИКОНОВА¹, к.т.н., доцент, Н.А.АХЕТОВА¹, М.С.БЕЛАШОВ¹, О.Б.САБИРОВА¹, ¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г.Санкт-Петербург, ²Грозненский государственный нефтяной технический университет, г.Грозный; e-mail: uzdin@mail.ru

РАСЧЕТ МОСТОВ НА ДЕЙСТВИЕ СЛАБОГО (ПРОЕКТНОГО) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ...29

В настоящее время расчет мостов по российским нормам производится только на действие сильного (максимального расчетного) землетрясения с повторяемостью раз в 500-5000 лет. В мировой практике повсеместно происходит переход к многоуровневому проектированию, рассматривающему несколько предельных состояний сооружения и соответствующих им расчетных воздействий. В статье рассмотрены особенности такого перехода применительно к мостам. При этом затронут весь комплекс вопросов, касающихся таких расчетов. К ним относятся задание предельных состояний, задание уровня расчетного воздействия, задание сочетаний нагрузок, задание расчетных схем мостов, учет демпфирования в элементах моста. Разработанные предложения требуют задания допустимой повторяемости тех или иных предельных состояний и базируются на инструментальную часть действующего ГОСТа по шкале балльности.

Ключевые слова: мосты, многоуровневое проектирование, максимальное расчетное землетрясение, проектное землетрясение, сейсмостойкое сооружение, предельные состояния, коэффициенты сочетаний, пиковые ускорения основания, демпфирование.

UDC: 624.042.7 DOI 10.37538/0039-2383.2023.2.29.37. **CALCULATING BRIDGES FOR THE ACTION OF A WEAK (DESIGN) EARTHQUAKE.** A.M. Uzdin¹, H.N. Mazhiev², G.V. Sorokina¹, I.O. Kuznezova¹, N.V. Nikonova¹, N.A. Ahetova¹, M.S. Belashov¹, O.B. Sabirova¹, ¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, ²Grozny State Oil Technical University; e-mail: uzdin@mail.ru

According to Russian standards calculating bridges is made only for the action of a strong (maximum design) earthquake with a frequency of once every 500-5000 years. In the whole world practice there is a transition to multi-level designing, which considers several structure limit states and the corresponding design actions. The paper discusses the features of such transition in relation to bridges, with the whole range of issues related to such calculations being described. These issues include specifying limit states, specifying the level of design action, setting load combinations and design schemes for bridges, and taking into account damping in bridge elements. The developed proposals require setting the allowable repeatability of certain limit states and are based on the instrumental part of the current the seismic scale standard.

Keywords: bridges, multilevel design, maximum calculated earthquake, design earthquake, earthquakeresistant structure, limit states, combination coefficients, peak acceleration of the base, damping.

[Расчеты на устойчивость](#)
[Stability calculations](#)

УДК 539.384 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.38.45

Ю.И. ДОРОГОВ, к.т.н. г. Калининград, e-mail: ydorogov@yandex.ru

ПРОДОЛЬНЫЙ ИЗГИБ ВЕСОМОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ НА ЖЁСТКОМ ОСНОВАНИИ...38

Исследуется потеря устойчивости тяжёлого стержня на жёстком основании. Приведён вывод дифференциального уравнения углов наклона изогнутой оси стержня с использованием точного выражения кривизны. Рассмотрены различные случаи условий закрепления концов стержня. Из возможных форм равновесия стержня выбираются те, которые удовлетворяют условию равенства работы сжимающей силы и суммы упругой и гравитационной энергий, накопленных стержнем. Изогнутая форма равновесия определяется максимальным углом отклонения оси стержня, который увеличивается с увеличением веса стержня и не зависит от геометрических характеристик его поперечного сечения.

Ключевые слова: устойчивость тяжёлого горизонтального стержня, потеря устойчивости горизонтального стержня, несмежная форма равновесия.

UDC 539.384 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.38.45. **LONGITUDINAL BENDING OF A WEIGHTY HORIZONTAL ROD ON A RIGID BASE.** Y.I. Dorogov; e-mail: ydorogov@yandex.ru

The loss of stability of a heavy horizontal rod on a rigid base is investigated. The differential equation of the angle of inclination of the curved axis of the rod is obtained using the exact expression of curvature. Various cases of conditions for fixing the ends of the rod are considered. From the possible forms of equilibrium of the rod, those are selected that satisfy the condition of equality of the compressive force work and the sum of elastic and gravitational energies accumulated by the rod. The curved shape of the equilibrium is determined by the maximum angle of deviation of the axis of the rod, which increases with increasing weight of the rod and does not depend on the geometric characteristics of its cross-section.

Keywords: stability of a heavy horizontal rod, loss of stability of a horizontal rod, non-adjacent form of equilibrium.

[В помощь проектировщику](#)
[To help the designer](#)

УДК: 692.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.46.52

Н.С. НОВОЖИЛОВА¹, к.т.н., Н.М. РУДАКОВ², инженер, ¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ²ООО "ПИИ"Парус"
АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ, УСИЛЕННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБОЙМОЙ, ПРИ МЕСТНОМ КРАЕВОМ СЖАТИИ...46

В данной статье рассматривается расчет несущей способности неармированной кирпичной кладки, усиленной железобетонной обоймой, при краевом приложении местной сжимающей нагрузки (на торец). Анализируется напряженное состояние кладки и бетона обоймы с помощью моделирования конструкции с использованием ПК ANSYS. Вследствие отсутствия методики расчета на местное краевое сжатие рассматриваемой конструкции предлагается метод расчета, наиболее соответствующий работе модели.

Ключевые слова: усиление кирпичных стен, железобетонная обойма, моделирование, местное краевое сжатие, напряженное состояние.

UDC: 692.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.46.52. **ANALYSIS OF CALCULATION METHODS OF BRICKWORK REINFORCED WITH REINFORCED CONCRETE CAGE WITH LOCAL EDGE COMPRESSION.** N. S. Novozhilova¹, N. M. Rudakov², ¹Saint-Petersburg state university of architecture and civil engineering, ²LLC "DSI "Parus"; e-mail: nsn01@list.ru

Annotation: This article considers the calculation of the carrying capacity of non-reinforced brickwork reinforced with a double-sided reinforced concrete cage, with the edge application of a local compressive load (on the end). The stress state of the masonry and concrete of the cage is analyzed by modeling the structure using an ANSYS PC. Due to the lack of a methodology for calculating the local edge compression of the structure under consideration, a calculation method is proposed that best corresponds to the operation of the model.

Keywords: reinforcement of brick walls, reinforced concrete cage, modeling, local edge compression, stress state.

УДК: 514.7 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.53.62

В.Н. ИВАНОВ, д.т.н., О.О. АЛЕШИНА, к.т.н., Российский университет дружбы народов, г. Москва; e-mail: i.v.ivan@mail.ru, xiaofeng@yandex.ru

ГЕОМЕТРИЯ ПРЯМЫХ КОНОИДОВ С ОРТОГОНАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ...53

В статье рассматривается геометрия и способы формообразования прямых коноидов. Прямые коноиды образуются движением прямой образующей линии, перпендикулярной неподвижной прямой линии – оси коноида, вдоль которой перемещается образующая прямая. При движении образующая прямая вращается по заданному закону вокруг направляющей кривой. Обычно образующую прямую связывают с некоторой опорной кривой, которой касается образующая прямая. Координатную сетку вдоль образующих прямых также связывают с опорной кривой. При этом образуется неортогональная координатная система прямого коноида. Коэффициенты квадратичных форм поверхностей с неортогональной системой координат обычно сложные. Методы расчета оболочек с неортогональной системой координат срединной поверхности оболочек усложняются. В статье рассматривается возможность образования прямых коноидов с ортогональной системой координат, в том числе с направляющими опорными кривыми. Приводится векторное уравнение для задания прямых коноидов с ортогональной несопряженной системой координат. Получены формулы коэффициентов квадратичных форм, характеризующие внутреннюю геометрию и искривленность прямых коноидальных поверхностей в пространстве с помощью данного векторного уравнения. Построены рисунки прямых коноидов при различных геометрических параметрах в программе MathCAD. Наглядно продемонстрировано отличие в построении прямых коноидов с ортогональной и неортогональной криволинейными системами координат.

Ключевые слова: геометрия поверхностей, прямой коноид, уравнение поверхности, ортогональная система координат, геометрические характеристики поверхности.
UDC: 514.7 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.53.62. GEOMETRY OF RIGHT CONOIDS WITH AN ORTHOGONAL COORDINATE SYSTEM. V.N. Ivanov, O.O. Aleshina, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow; e-mail: i.v.ivan@mail.ru, xiaofeng@yandex.ru

Abstract. The geometry and methods of forming right conoids are considered in the article. Right conoids are formed by the movement of a rectilinear generatrix perpendicular to a fixed straight line – the axis of the conoid, along which the rectilinear generatrix moves. When moving, the rectilinear generatrix rotates according to a given law around the directrix curve. Usually, the generatrix line is connected to some reference curve that the generatrix line touches. The coordinate grid along the generatrix lines is also connected with the reference curve. In this case, a non-orthogonal coordinate system of a right conoid is formed. Coefficients of quadratic forms of surfaces with a non-orthogonal coordinate system, usually are complex. Methods for analyzing shells with a non-orthogonal coordinate system of the middle surface of the shell are becoming more complicated. The article considers the possibility of forming right conoids with an orthogonal coordinate system, including with directrix reference curves. A vector equation is given for specifying right conoids with an orthogonal nonconjugate coordinate system. Formulas of coefficients of quadratic forms characterizing the internal geometry and curvature of right conoidal surfaces in space with the help of this vector equation are obtained. Based on the vector equations of the surface assignment, drawings of right conoids with various geometric parameters are constructed in the MathCAD program. The difference in the construction of right conoids with orthogonal and non-orthogonal curved coordinate systems is clearly demonstrated, so with different methods of specifying the angles of inclination of rectilinear generatrix of surfaces.

Key words: geometry of surfaces, right conoid, equation of the surface, orthogonal coordinate system, the fundamental forms of the surface

УДК 624.131 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.63.68

С.В. Босаков, д.т.н., проф., О.В. Козунова, к.т.н., доцент, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, РБ, e-mail: sevibo@yahoo.com, e-mail: kozunova@gmail.com

МЕТОД РИТЦА В НЕЛИНЕЙНЫХ РАСЧЕТАХ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК...63

В работе рассматриваются расчеты однопролетных железобетонных изгибаемых балок с учетом нелинейной связи между напряжениями и деформациями. Согласно методу Ритца прогибы балок задаются в виде ряда по тригонометрическим функциям с неопределенными коэффициентами. Нелинейность учитывается зависимостью «момент-кривизна» в виде кубической параболы. Функционал полной энергии балки и действующей на нее нагрузки имеет нелинейный вид относительно неопределенных коэффициентов, которые находятся с помощью пакета компьютерной математики из условия минимума этого функционала. Приводятся два примера для статически определимой железобетонной шарнирно опертой балки под действием равномерно распределенной нагрузки и статически неопределимой железобетонной балки под действием сосредоточенной силы. Выполнено сопоставление с упругим решением. Приводятся координатные функции метода Ритца для однопролетных балок с иными граничными условиями.

Ключевые слова: зависимость «момент-кривизна», однопролетная балка, метод Ритца, функционал полной энергии.

UDC 624.131 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.63.68. THE RITZ METHOD IN NONLINEAR CALCULATIONS OF SINGLE-SPAN REINFORCED CONCRETE BEAMS. S.V. Bosakov, O.V. Kozunova, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: sevibo@yahoo.com, kozunova@gmail.com

Abstract. The paper considers the calculations of single-span reinforced concrete bent beams, taking into account the nonlinear relationship between stresses and strains. Deflections of beams according to the Ritz method are given as a series of trigonometric functions with undetermined coefficients. Nonlinearity is taken into account by the "moment-curvature" dependence in the form of a cubic parabola. The functional of the total energy of the beam and the load acting on it has a non-linear form with respect to indefinite coefficients, which are found with the help of a computer mathematics package from the condition of the minimum of this functional. Two examples are given for a statically determinate reinforced concrete articulated beam under the action of a uniformly distributed load and a statically indefinite reinforced concrete beam under the action of a concentrated force. A comparison with an elastic solution is made. The coordinate functions of the Ritz method are given for single-span beams with other boundary conditions.

Key words: moment-curvature dependence, single-span beam, Ritz method, total energy functional.

[Динамические расчеты](#)

[Dynamic calculations](#)

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.69.74

Д.Н. НИЗОМОВ¹, д.т.н., проф., А.И. ДАДАБОВЕВ², ¹Национальная академия наук Таджикистана, Респ. Таджикистан, г. Душанбе; e-mail: ties@mail.ru, ²Таджикский технический университет им. ак. М.С. Осими, Респ. Таджикистан, г. Худжанд; e-mail: dadaboev61@inbox.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ...69

В статье описан процесс математического моделирования динамической задачи теории упругости методом граничных интегральных уравнений. В результате применения последовательной аппроксимации получена система алгебраических уравнений, которая решается шаговым методом. Разработанный алгоритм позволяет исследовать напряженно-деформируемое состояние двумерной задачи теории упругости от различных динамических воздействий.

Ключевые слова: теорема взаимности работ, сплайн-аппроксимация, инерция, фундаментальное решение, граничные параметры.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.69.74. MATHEMATICAL MODELING OF DYNAMIC PROBLEMS METHOD OF BOUNDARY EQUATIONS. D.N. Nizomov¹, A.I. Dadaboev², ¹National Academy of Sciences of Tajikistan, Tajikistan republic, Dushanbe; e-mail: ties@mail.ru, ²Tajik Technical University named after ac. M.S. Osimi, Tajikistan republic, Khujand; e-mail: dadaboev61@inbox.ru

The article describes the process of mathematical modeling of the dynamic problem of the theory of elasticity by the method of boundary integral equations. As a result of applying successive approximation, a system of algebraic equations is obtained, which is solved by a step method. The developed algorithm makes it possible to study the stress-strain state of a two-dimensional problem of the theory of elasticity from various dynamic influences.

Keywords: reciprocity work theorem, spline approximation, inertia force, fundamental solution, boundary parameters.

УДК: 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.75.80

А.С. КОРНИЛОВА, Е.Е. ПАРАМОНОВ, НИУ МГСУ, г. Москва; e-mail: zkstasy@gmail.com

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТОНКИХ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ПОД ОБОРУДОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ...75

В настоящее время тонкие плиты на естественном грунтовом основании под виброактивное оборудование применяются в различных отраслях промышленности. Такое конструктивное решение может значительно экономить как человеческий, так и материальный ресурсы. Представленная статья содержит краткое изложение методики численного расчета тонких фундаментных плит на действие динамических нагрузок от виброактивного оборудования. На основе изложенной методики авторами разработан алгоритм, реализованный в виде программы расчета на языке python. Рассмотренная схема позволяет учитывать виброизоляцию и податливость опорной конструкции, взаимное влияние областей приложения нагрузки на напряженно-деформированное состояние плиты, а также при расчетах учитываются переходные режимы работы оборудования. Изложены основные требования, установленные нормативными документами, и некоторые рекомендации, учитывающие особенности применяемой конструкции. В качестве примера приведен расчет плиты с установленной дизель-генераторной установкой. Рассмотрено два варианта установки – с виброизоляцией и непосредственно на плиту (без виброизоляции). Результаты расчетов показывают, что на тонкие плиты, с учетом предъявляемых требований и рекомендаций, допускается устанавливать габаритное и тяжелое оборудование, относящееся к категории большой виброактивности. Такие конструкции обладают значительными преимуществами и при соответствующем расчетном обосновании могут широко использоваться на практике.

Ключевые слова: динамический расчет конструкций, оборудование с динамическими нагрузками, дизель-генераторная установка, виброизоляция, тонкая фундаментная плита.

UDC: 624.073 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.2.75.80. CALCULATION SUBSTANTIATION OF THIN FOUNDATION PLATES FOR EQUIPMENT ON THE EXAMPLE OF A DIESEL GENERATOR PLANT. A.S. Kornilova, E.E. Paramonov, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University); e-mail: zkstasy@gmail.com

The presented article contains a summary of the methodology for the numerical calculation of thin foundation slabs for the action of dynamic loads from vibroactive equipment. The considered scheme makes it possible to take into account the vibration isolation and compliance of the supporting structure, the mutual influence of the load application areas on the stress-strain state of the slab. Two installation options are considered - with vibration isolation and without it. The calculation results show that small pieces of the slab account for large overall and heavy vibroactive equipment.

Keywords: dynamic structural analysis, equipment with dynamic loads, diesel generator plant, vibration isolation, thin foundation plate.

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

УДК 62-6 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.2.6

В.И. АНДРЕЕВ, д.т.н., И.М. ПОЛЯКОВА, к.т.н. НИУ МГСУ; e-mail: asv@mgsu.ru

РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С УЧЕТОМ СПЛОШНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ, ВЫЗВАННОЙ ПОЛЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ...2

В работе рассматривается задача определения напряженно-деформированного состояния толстостенной цилиндрической оболочки, подвергнутой температурному воздействию. Оболочка состоит из трех слоев: двух слоев жаропрочного бетона и стального внешнего слоя. В расчете учитывается сплошная неоднородность материалов, вызванная стационарным температурным полем, а также нелинейный характер деформации бетона. Нелинейная задача с переменными параметрами упругости E и ν , решаемая методом последовательных приближений, описана в статье [1].

Ключевые слова: цилиндрическая слоистая оболочка, температурное воздействие, нелинейность, жаростойкий бетон.

UDC 62-6 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.2.6. CALCULATION OF A NONLINEAR ELASTIC THREE-LAYER CYLINDRICAL SHELL ACCOUNTING THE CONTINUOUS INHOMOGENEITY CAUSED BY THE TEMPERATURE FIELD. V.I. Andreev, I.M. Polyakova, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University); e-mail: asv@mgsu.ru

Abstract. The paper considers the problem of determining the stress-strain state of a thick-walled cylindrical shell subjected to temperature effects. The shell consists of three layers: two layers of heat-resistant concrete and a steel outer layer. The calculation takes into account the continuous inhomogeneity of materials caused by a stationary temperature field, as well as the non-linear nature of concrete deformation. A nonlinear problem with variable elasticity parameters E and ν , solved by the method of successive approximations, is described in the article [1].

Keywords: cylindrical layered shell, temperature effect, non-linearity, refractory concrete.

[Расчеты на устойчивость](#)[Stability calculations](#)

УДК 624.35:531.391.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.7.14

М. В. СУХОТЕРИН¹, д.т.н., доц., В.Н. ГЛУХИХ², д.т.н., проф., И.В. ВОЙТКО¹, к.т.н., доц., Е.М. ПАСТУШОК¹, доц. ¹ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, ²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: sukhoterinmv@gumrf.ru**КОЛЕБАНИЯ ЗАЩЕМЛЕННОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ – СЖАТИИ ЕЕ ПЛОСКОСТИ...7**

В работе исследована зависимость собственной частоты колебаний защемленной прямоугольной пластины от величины равномерно распределенных сжимающих (или растягивающих) усилий, приложенных ко всем ее граням. Задача решена с помощью двух гипероло-тригонометрических рядов, удовлетворяющих всем условиям краевой задачи. Получена разрешающая бесконечная однородная система линейных алгебраических уравнений относительно одной последовательности коэффициентов ряда, которая в качестве параметров содержит собственную частоту и интенсивность продольной нагрузки. Собственная частота вычислялась для ряда значений продольной нагрузки до ее критической величины. При этом использовался итерационный метод отыскания нетривиальных решений системы в сочетании с методом перебора частоты (метод «стрельбы»). Установлено, что с ростом сжимающей нагрузки собственная частота квадратной пластины уменьшается по параболическому закону. Численные результаты сравниваются с результатами других авторов.

Ключевые слова: собственные колебания, продольное растяжение-сжатие, защемленная прямоугольная пластина, итерационный метод, гипероло-тригонометрические ряды.

UDC 624.35:531.391.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.7.14. VIBRATIONS OF THE CLAMPED RECTANGULAR PLATE UNDER TENSION – COMPRESSION ITS PLANES. M.V. Sukhoterin¹, V.N. Glukhikh², I.V. Voytko¹, E.M. Pastushok¹, ¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint-Petersburg, Russia, ²Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia; e-mail: sukhoterinmv@gumrf.ru

Abstract. The dependence of the natural oscillation frequency of a pinched rectangular plate on the magnitude of uniformly distributed compressive (or tensile) forces applied to all its faces is investigated. The problem is solved using two hyperbolic-trigonometric series satisfying all the conditions of the boundary value problem. A resolving infinite homogeneous system of linear algebraic equations is obtained with respect to a single sequence of coefficients of a series, which contains the natural frequency and intensity of the longitudinal load as parameters. The natural frequency was calculated for a number of values of the longitudinal load up to its critical value. At the same time, an iterative method of finding nontrivial solutions of the system was used in combination with the frequency sampling method (the “shooting” method). It is established that with increasing compressive load, the natural frequency of the square plate decreases according to the parabolic law. Numerical results are compared with the results of other authors.

Keywords: Natural oscillations, longitudinal tension-compression, pinched rectangular plate, iterative method, hyperbolic-trigonometric series.

[Экспериментальные исследования](#)[Experimental studios](#)

УДК 624.01:533.6 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.15.35

М.А. БЕРЕЗИН^{1,2}, М.М. БЕРЕЗИН², В.В. КАТЮШИН², к.т.н., И.В. ЛЕБЕДЕВА³, к.т.н., ¹Новосибирский отдел аэродинамики сооружений, ²Научно-исследовательская и проектно-строительная фирма «УНИКОН», ³ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко АО«НИИЦ«Строительство»; e-mail: ivlebed@mail.ru**АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТРУБА 3-АТ-17,5/3 ФИРМЫ УНИКОН. ПОЛВЕКА В ЭКСПЛУАТАЦИИ...15**

Аэродинамическая труба с длиной рабочей частью, предназначенная для экспериментального решения задач энергетического, гражданского, промышленного строительства, а также для оценки экологических показателей проектируемых и существующих объектов, находилась в эксплуатации 50 лет. Решены вопросы давления ветра на проектируемые главные корпуса и вспомогательные здания, башенные градирни, на угольные транспортные галереи мощных тепловых электростанций, на опоры, фазы и гирлянды изоляторов уникальных линий электропередачи в габаритах 1150 киловольт (переменного тока) и 1500 киловольт (постоянного тока), вопросы снеговых заносов электропреобразовательных комплексов, складов энергетического угля. Показано, что при определенных направлениях ветра относительно исследуемого объекта ветровое давление в локальных областях кровли и фасадов может превышать в 4 (четыре) и более раз рекомендованные нормативными документами величины. Исследованы аэродинамические показатели высотных и уникальных зданий и комплексов в условиях взаимного влияния отдельных зданий в комплексе, и разработаны рекомендации по назначению ветровых и снеговых нагрузок на здания и сооружения. Результаты модельных исследований в аэродинамической трубе 3-АТ-17.5/3 фирмы УНИКОН положены в основу Временных Рекомендаций МДС 20-1.2006. Разработаны и предложены методы снижения объёмов выноса угольной пыли с поверхности открытых складов энергетического угля, а также с поверхности отвалов породы при добыче угля открытым способом.

Ключевые слова: ветер, пограничный слой, генплан, сооружение, фасад, кровля, давление, пульсации, коэффициенты давления C_e , снеговая нагрузка, коэффициент формы μ , аэродинамическая труба, мониторинг, анализ.

UDC: 624.01:533.6 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.15.35. WIND TUNNEL 3-AT-17,5/3 OF THE COMPANY UNIKON. HALF A CENTURY IN OPERATION. M.A. Berezin¹, M.M. Berezin¹, V.V. Katyushin², I.V. Lebedeva³, ¹Novosibirsk Department of Aerodynamics of Buildings, Research and Development and Construction Company “UNIKON”, ²Research and Development and Construction Company “UNIKON”, ³Research Institute of Building Construction named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction; e-mail: ivlebed@mail.ru

Annotation. The wind tunnel with a long working part, designed for experimental solution of problems of energy, civil, industrial construction, as well as assessment of environmental indicators of projected and existing facilities, has been in operation for 50 years. The issues of wind pressure on the projected main buildings and auxiliary buildings, tower cooling towers, coal conveyor galleries of powerful thermal power plants, supports, phases and garlands of insulators of unique power transmission lines in dimensions of 1150 kilovolts (AC) and 1500 kilovolts (DC), issues of snow drifts of electric conversion complexes, warehouses of thermal coal have been resolved. It is shown that with certain wind directions relative to the studied object, the wind pressure in the local areas of the roof and facades can exceed 4 (four) or more times the values recommended by regulatory documents. The aerodynamic parameters of high-rise and unique buildings and complexes have been studied under the conditions of mutual influence of individual buildings in the complex, and recommendations have been developed for the purpose of wind and snow loads on buildings and structures. The results of model studies in the wind tunnel 3-AT-17.5/3 of the UNIKON company are the basis for the Temporary Recommendations of the MDS 20-1.2006. Methods have been developed and proposed to reduce the volume of coal dust removal from the surface of open warehouses of thermal coal, as well as from the surface of rock dumps during open-pit coal mining. During the half-century period of technical operation, all non-metallic components of the wind tunnel have become physically obsolete, nodes with movable elements have worked out their resource, which required a deep modernization of the aerodynamic channel.

Keywords: wind, boundary layer, master plan, structure, facade, roof, pressure, pulsations, pressure coefficients C_e , snow load, shape coefficient μ , wind tunnel, monitoring, analysis.

УДК: 69.058.7 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.36.45

М.О. ПАВЛОВА¹, к.т.н., В.А. ЗАХАРОВ¹, А.М. КВАРДАКОВА², ¹ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко АО«НИИЦ«Строительство», ²НИУ МГСУ; e-mail:

kvardakova.nastja@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ УЗЕЛ ОКОННОГО ОТКОСА...36

Произведена оценка теплопотерь по энергетической эффективности проектируемых и уже построенных зданий. Проведен анализ теплотехнической неоднородности конструкций наружных стен возведенных зданий. Определена важность краевых зон при расчетах потерь тепла через ограждающие конструкции. Приведены результаты расчетов теплопотерь через узел оконного откоса для окна с алюминиевым профилем. Среди трех рассматриваемых утеплителей выбран наилучший вариант с точки зрения эффективности теплозащиты, стоимости и технических характеристик в целом. Основной проблемой, рассматриваемой в статье, является недооцененность влияния краевых зон окон на общий уровень теплопотерь через ограждающие конструкции здания.

Ключевые слова: энергоэффективность, тепловая защита зданий, ограждающие конструкции, теплопотери, оконный откос.

UDC: 69.058.7 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.36.45. STUDY OF HEAT LOSS THROUGH A WINDOW SLOPE. M.O.Pavlova¹, V.A.Zaharov¹, A.M.Kvardakova², ¹Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, ²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University); e-mail: kvardakova.nastja@gmail.com

Abstract. An assessment of the energy efficiency requirements of the designed and already constructed buildings has been made. The analysis of the thermal heterogeneity of the structures of the external walls of the erected buildings is carried out. The importance of edge zones in the calculation of heat losses through enclosing structures is determined. The results of calculations of heat loss through the window slope node for a window with an aluminum profile are presented. Among the three considered insulation materials, the best option was chosen in terms of thermal protection efficiency, cost and technical characteristics in general. The main problem considered in the article is the underestimation of the influence of the edge zones of windows on the overall level of heat loss through the enclosing structures of the building.

Keywords: energy efficiency, thermal protection of buildings, enclosing structures, heat loss, window slope.

[Нормирование](#)
[Standardization](#)

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.3.46.53

И.И. ВЕДЯКОВ¹, д.т.н., проф., М.И. ГУКОВА¹, к.т.н., М.И. ФАРФЕЛЬ^{1,2}, к.т.н., доцент ¹ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко АО«НИЦ«Строительство», ²НИУ МГСУ; e-mail: farfelmi@yandex.ru

ИЗМЕНЕНИЯ № 3 К НОРМАМ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (СП 294.1325800.2017)...46

Внесенные Изменения №3 в СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования» приведены в помощь проектировщикам и в ответ на поступившие к разработчикам с 2020 по 2022 год вопросы. В состав Изменений №3 вошли 10 разделов. При этом в разделе 2 «Нормативные ссылки» учтены вступившие в действие новые своды правил и ГОСТы, изменения в своды правил, в том числе в СП 16.13330. Наиболее значимыми являются изменения, внесенные в раздел 7 (по расчету на устойчивость стержней швеллерного сечения, подверженных сжатию и изгибу в двух плоскостях) и в раздел 20 к требованиям по расчету балок с перфорированной стенкой из прокатных двутавров ($\geq I 20$) из стали с пределом текучести, принимаемым по таблице В.5 СП 16.13330.2017, или сварного сечения из листового проката из стали с пределом текучести, принимаемым по таблице В.3 СП 16.13330.2017.

Ключевые слова: сталь, стальная конструкция, несущая способность, жесткость, ферма, балка, стержень, болт, связь, прокат.

UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.3.46.53. AMENDMENTS No.3 TO THE STANDARDS FOR THE DESIGN OF STEEL STRUCTURES (SP 294.1325800.2017). I.I.

Vedyakov¹, M.I. Gukova¹, M.I. Farfel^{1,2}, ¹TSNISK named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, ²Moscow State University of Civil Engineering.

Abstract: Amendments No. 3 to SP 294.1325800.2017 "Steel structures. Design rules" are given to help designers and in response to questions received by developers from 2020 to 2022. Changes No. 3 included 10 sections. At the same time, section 2 "Regulatory references" takes into account the new codes of rules and GOST standards that have come into effect, changes to the codes of rules, including in SP 16.13330. The most significant are the changes made to Section 7 (based on the stability of channel cross-section rods subject to compression and bending in two planes) and Section 20 to the requirements for the calculation of beams with a perforated wall made of rolled I-beams (≥ 20) made of steel with a yield strength accepted according to Table B.5 SP 16.13330.2017, or a welded section made of rolled steel sheets with a yield strength accepted according to Table B.3 of SP 16.13330.2017.

Keywords: steel, steel structure, bearing capacity, stiffness, truss, beam, rod, bolt, connection, rental.

УДК 699.8:624.01 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.3.54.60

И.И. ВЕДЯКОВ, д.т.н., профессор, В.К. ВОСТРОВ, д.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко АО«НИЦ«Строительство»; e-mail: vovstrv@mail.ru

АВАРИЙНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СИТУАЦИИ И МЕХАНИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...54

Проводится краткий анализ главных причин аварийных ситуаций в строительстве и соответствующих нормативных документов, касающихся аварийных расчетных ситуаций, аварийных нагрузки воздействий. Предлагаются способы определения аварийных ситуаций, основанных как на анализе каждой случившейся аварии, так и на теоретическом анализе возможных аварийных ситуаций, которые должны проводиться с учетом требований к обеспечению механической безопасности Федерального закона № 384-ФЗ. Анализируются понятия живучести и лавинообразного разрушения, и предлагается ввести в текст этого закона требование о расчете живучести конструкций вместо положения об учете аварийной расчетной ситуации, которая может возникнуть после отказа одной из несущих конструкций.

Ключевые слова: безопасность, надежность, живучесть, аварийные нагрузки, аварийные ситуации, прогрессирующее обрушение.

UDC 699.8:624.01 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.3.54.60. EMERGENCY DESIGN SITUATIONS AND MECHANICAL SAFETY OF BUILDING STRUCTURES. I.I.

Vedyakov, V.K. Vostrov, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction; e-mail: vovstrv@mail.ru

Abstract. A brief analysis of the main causes of emergencies in construction and relevant regulatory documents concerning emergency design situations, emergency loads and impacts is carried out. The methods of determining emergency situations are proposed, based both on the analysis of each accident that has occurred, and on the theoretical analysis of possible emergency situations, which should be carried out taking into account the requirements for ensuring mechanical safety of Federal Law No. 384-FZ. The concepts of survivability and avalanche-like destruction are analyzed, and it is proposed to introduce into the text of this law a requirement for calculating the survivability of structures instead of a provision on accounting for an emergency settlement situation that may arise after the failure of one of the supporting structures.

Keywords: safety, reliability, robustness, emergency loads, emergency situations, progressive collapse.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.139 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.61.71

А.Г. АЛЕКСЕЕВ^{1,2}, к.т.н. ¹НИИОСП им.Н.М. Герсеванова АО«НИЦ Строительство» ²НИУ МГСУ; adr-alekseev@yandex.ru

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПУЧИНИСТЫХ ГРУНТОВ С ПОДПОРНЫМИ СТЕНАМИ В МАССИВЕ...61

Оценка напряженно-деформированного состояния промерзающего пучинистого грунта за подпорными стенами является важной научно-практической задачей. Промерзание грунта приводит к развитию горизонтального нормального давления морозного пучения и деформированию стен. Статья содержит метод оценки величины деформации пучения грунта в ортогональных плоскостях. Предложена методика оценки давления морозного пучения грунта, действующего при вертикальном и горизонтальном сопряженном промерзании пучинистого грунта, с использованием теории термоупругости. Получена аналитическая формула для оценки давления пучения при горизонтальном промерзании грунта за стеной с учетом нелинейности по гиперболическому закону. Определены составляющие давления на стены с учетом действия морозного пучения и при оттаивании грунта с использованием теории предельного равновесия. Представлены сравнительные расчеты давления пучения по предложенной методике и замеренного давления в полевых условиях в г. Сергиев-Посад Московской области.

Ключевые слова: морозное пучение грунта, горизонтальное давление морозного пучения грунта, деформация морозного пучения, вертикальные стены подпорных сооружений.

UDC 624.139 DOI 10.37538/0039-2383.2023.3.61.71. INTERACTION OF FROSTY HEAVING OF SOILS WITH RETAINING WALLS IN THE MASSIF. A.G. Alekseev^{1,2}, ¹NIIOOSP named after N.M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, ²Moscow State University of Civil Engineering; e-mail: adr-alekseev@yandex.ru

Annotation. Assessment of the stress-strain state of the freezing heaving soil behind retaining walls is an important scientific and practical task. Freezing of the soil leads to the development of horizontal normal pressure of frost heaving and deformation of the walls. The article contains a method for estimating the amount of soil heaving deformation in orthogonal planes. A method for estimating the pressure of frost heaving of the soil using the theory of thermoelasticity, acting with vertical and horizontal conjugate freezing of the heaving soil, is proposed. An analytical formula is obtained for estimating the heaving pressure during horizontal freezing of the soil behind the wall, taking into account the nonlinearity according to the hyperbolic law. The components of the pressure on the walls are determined taking into account the effect of frost heaving and thawing of the soil using the theory of ultimate equilibrium. Comparative calculations of the heaving pressure according to the proposed method and the measured pressure are presented in field conditions in Sergiev Posad Moscow region.

Keywords: frost heaving of soil, horizontal pressure of frost heaving of soil, deformation of frost heaving, vertical walls of retaining structures.

УДК: 624.074 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.3.72.77

В. А. КОМАРОВ, к.т.н., доцент Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: komarov58reg@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ В ПОДРЕЗКАХ РИГЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСОВ...72

Рассмотрены модели и расчетные зависимости прочности наклонных сечений изгибаемых элементов, имеющих постоянное и резкое изменение высоты поперечного сечения (подрезки) в принятых и ранее действующих нормативных документах. Дан анализ напряженно-деформированного состояния, выявлен характер образования трещин и схем разрушения. Предложены стержневые модели и расчетные зависимости прочности наклонных сечений на действие поперечной силы и изгибающих моментов в развитие нормативных методик.

Ключевые слова: многоэтажные сборные каркасы, ригели с подрезкой, наклонные трещины, методы расчета.

UDC: 624.074 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.3.72.77. IMPROVEMENT OF THE CALCULATION OF INCLINED SECTIONS FOR TRIMMING MULTI-STORY FRAMES. V.A.

Komarov, Penza State University of Architecture and Construction; e-mail: komarov58reg@yandex.ru

Abstract. The models and calculated dependences of the strength of inclined sections of bent elements having a constant and sharp change in the height of the cross section (trimming) in the adopted and previously valid regulatory documents are considered. An analysis of the stress-strain state is given, the nature of crack formation and fracture patterns is revealed. Rod models and calculated dependences of the strength of inclined sections on the effect of transverse force and bending moments in the development of normative techniques are proposed.

Keywords: multi-storey prefab frames, trimming crossings, inclined cracks, calculation methods.

УДК 691.421 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.3.78.83

В.И. ОБОЗОВ, д.т.н., проф., О.И. ПОНОМАРЕВ, к.т.н., А.Ю. ИВАНОВА ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко АО«НИЦ«Строительство»; г. Москва; e-mail: obozov@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ КЛАДКИ ИЗ КРУПНОФОРМАТНЫХ КАМНЕЙ С ПАЗОГРЕБНЕВЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШВОВ...78

Исследуется напряженно-деформированное состояние кладки стен из крупноформатных керамических камней с вертикальными швами паз-гребень насухо. Выполнено на модели стены численное исследование напряженного состояния кладки фрагмента стены при сосредоточенной нагрузке. Фрагмент стены моделировался объемными конечными элементами. Установлено, что под сосредоточенной нагрузкой деформируемая зона имеет вид треугольника с вершиной под нагрузкой и расширяющейся по мере удаления от места приложения нагрузки. Предложен приближенный способ определения напряжений сжатия в камнях кладки с цепной перевязкой при сосредоточенной нагрузке в виде треугольника распределения. Установлены особенности распределения напряжений сжатия в цепной кладке стен из крупноформатных камней при сосредоточенной нагрузке.

Ключевые слова: стена, цепная кладка, стык паз-гребень, напряжения сжатия, сосредоточенная нагрузка, модель, фрагмент стены, объемные конечные элементы, треугольник распределения напряжений.

UDC 691.421 DOI:10.37538/0039-2383.2023.3.78.83. PECULIARITIES OF DEFORMATION OF MASONRY MADE OF LARGE-FORMAT BLOCKS WITH A GROOVE-RIDGE JOINT

OF VERTICAL SEAMS. V.I. Obozov, O.I. Ponomarev, A.Yu. Ivanova Research Institute of Building Construction named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction; obozov@yandex.ru

Abstract. The stress-strain state of a masonry wall made of large-format ceramic blocks with vertical tongue-and-groove dry joints is investigated. A numerical study of the masonry stress state of a wall fragment under a concentrated load is carried out on the wall model. The fragment of the wall was modeled by volumetric finite elements. It was found that under a concentrated load the deformed zone has the form of a triangle with a peak under the load and widening as the distance from the place of load application increases. An approximate method for determining the compressive stresses in the chain-link masonry elements under a concentrated load in the form of a distribution triangle has been proposed. The peculiarities of compressive stresses distribution in chain masonry walls made of large-format masonry stones under concentrated load have been established.

Keywords: wall, chain masonry, tongue-and-groove joint, compression stresses, concentrated load, model, wall fragment, volume finite elements, stress distribution triangle.

УДК 624.07.534.1 DOI 10.37538/0039-2383.2023.4.2.14

И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., профессор Российский университет транспорта (МИИТ); e-mail: ivaii011@mtu1net.ru

МЕТОД РАСЧЕТА СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ИНЕРЦИОННОЙ НАГРУЗКОЙ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ...2

Рассматривается метод расчета стержневых систем на взаимодействие с подвижной инерционной нагрузкой при переменной скорости движения с использованием предлагаемых стержневых граничных элементов (ГЭ). Рассмотрены тестовые задачи о движении груза с переменными скоростями по шарнирно-опертой балке при ее дискретизации набором ГЭ. Рассмотрена задача о движении в режиме торможения скоростного состава по рамной эстакаде. Для построения методики используются предложенные ранее автором статьи методы: шаговый для решения задач неустойчившейся динамики сооружений и метод расчета сооружения на действие инерционной и подвижных силовых нагрузок (метод узловых ускорений).

Ключевые слова: подвижная инерционная нагрузка, шаговые процедуры, стержневые граничные элементы, рамная эстакада, переменная скорость, «метод узловых ускорений».

UDC 624.07.534.1 DOI 10.37538/0039-2383.2023.4.2.14. **METHOD FOR CALCULATING ROD SYSTEMS FOR INTERACTION WITH AN INERTIAL LOAD AT VARIABLE SPEED. I. I.**

Ivanchenko, Russian University of Transport (MIIT); e-mail: ivaii011@mtu1net.ru

Abstract. The method of calculating rod systems for interaction with a mobile inertial load at a variable speed of motion using the proposed rod boundary elements (GE) is considered. Test problems on the movement of a load with variable speeds along a pivotally supported beam with its discretization by a set of GE are considered. The problem of movement in the braking mode of a high-speed train on a frame overpass is considered. To construct the methodology, the step method proposed earlier by the author of the article is used to solve 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).

Keywords: mobile inertial load, step procedures, rod boundary elements, frame trestle, variable speed, “nodal acceleration method”.

УДК 624.35:531.391.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.4.15.20

М.Н. КИРСАНОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор Национальный исследовательский университет «МЭИ», e-mail: c216@ya.ru

СПЕКТР ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЕРВОЙ ЧАСТОТЫ ПЛОСКОЙ МОДЕЛИ КОНСОЛЬНОЙ ФЕРМЫ.15

Выводится формула зависимости нижней границы основной частоты собственных колебаний статически определимой консольной фермы от числа панелей. Решетка фермы крестообразная. Масса фермы сосредоточена в ее узлах. Рассматриваются вертикальные колебания узлов. Усилия в стержнях для вычисления матрицы жесткости конструкции по формуле Максвелла – Мора находятся методом вырезания узлов. Уравнения равновесия узлов составляются и решаются в символической форме в системе компьютерной математики Maple. Для определения нижней границы первой собственной частоты конструкции используется метод Донкерлея. Приближенное аналитическое решение сравнивается с наименьшей частотой всего спектра частот колебаний, найденной численно. Сравнение показывает высокую точность полученной формулы. С увеличением числа панелей погрешность приближенного решения уменьшается. Выявлены особенности спектра семейства ферм различного порядка. Обнаружены две спектральные константы.

Ключевые слова: ферма, Maple, индукция, число панелей, первая частота колебаний, нижняя оценка, спектральные константы.

UDC 624.35:531.391.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.4.15.20. **FREQUENCY SPECTRUM OF NATURAL OSCILLATIONS AND PLANAR MODEL CONSOLE TRUSS FIRST**

FREQUENCY ANALYTICAL EVALUATION. M.N. Kirsanov, National Research University “MPEI”; e-mail: c216@ya.ru

Abstract. A formula is derived for the dependence of the lower limit of the main natural frequency of a statically determined cantilever truss on the number of panels. The lattice of the truss is cruciform. The mass of the truss is concentrated in its nodes. Vertical vibrations of nodes are considered. The forces in the bars for calculating the stiffness matrix of the structure according to the Maxwell-Mohr formula are found by cutting out the nodes. Equilibrium equations for nodes are compiled and solved in symbolic form in the Maple computer mathematics system. To determine the lower limit of the first natural frequency of the structure, the Dunkerley method is used. The approximate analytical solution is compared with the lowest frequency of the entire spectrum of oscillation frequencies found numerically. The comparison shows the high accuracy of the resulting formula. As the number of panels increases, the error of the approximate solution decreases. Features of the spectrum of a family of trusses of different orders are revealed. Two spectral constants are found.

Key words: truss, Maple, induction, number of panels, first oscillation frequency, lower estimate, spectral constants.

УДК 624.046.5 DOI 10.37538/0039-2383.2023.4.21.27

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

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ЯДЕРНОЙ ОЦЕНКОЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ...21

В статье рассмотрен подход к вероятностному анализу надежности элементов строительных конструкций, при котором функции распределения случайных величин формируются на базе непараметрической статистики, в частности, путем ядерной оценки распределения вероятностей. Данный подход позволяет избежать гипотез о выборе закона распределения случайной величины и оценки его параметров. Особую актуальность предложенный подход приобретает в практических задачах вероятностной оценки надежности при обследовании зданий и сооружений, когда не удается получить большой объем статистической информации о физико-механических свойствах материалов строительных конструкций и грунтов. Показано формирование р-блока на примере функций распределения вероятностей, полученных на основе ядерной оценки. Повышения уровня надежности в условиях неопределенности данных можно достичь путем увеличения сечений / усиления конструкций или путем увеличения количества и качества статистической информации, что сделает интервал вероятности безотказной работы более информативным.

Ключевые слова: надежность, ядерная оценка плотности, вероятность отказа, безопасность, неопределенность, непараметрическая статистика.

UDC 624.046.5 DOI 10.37538/0039-2383.2023.4.21.27. **STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS WITH KERNEL ESTIMATION OF PROBABILITY FUNCTIONS. S.A. Solovev, A.A.**

Soloveva, Vologda State University; e-mail: solovevaa@vogu35.ru

Abstract. The article describes an approach to structural reliability analysis, in which distribution functions of random variables are formed on the basis of nonparametric statistics, in particular, by kernel density estimation. This approach avoids hypotheses about the choice of the distribution function of a random variable and the estimation of its parameters. The proposed approach acquires particular relevance in practical tasks of probabilistic reliability assessment during the inspection of buildings and structures when it is not possible to obtain a large amount of statistical data about the structural material or soil properties. An example of the formation of a p-box is shown on the example of probability distribution functions obtained on the basis of kernel estimation. Increasing the level of reliability in conditions of data uncertainty can be achieved by increasing the cross-sections / reinforcement of structures or by increasing the quantity and quality of statistical data, which will make the interval of the non-failure probability more informative.

Key words: reliability, kernel density estimation, failure probability, safety, uncertainty, nonparametric statistics.

УДК: 624.044.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.4.28.33

В.В. МИЩЕНКО АО «Ленгидропроект»; e-mail: MishchenkoVV@lhp.ru

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СТЕРЖНЯ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ИЗ ИДЕАЛЬНО-ПЛАСТИЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ С ИЗГИБОМ...28

Представлен результат пластического анализа стержня в виде зависимости предельного изгибающего момента от продольного усилия. Для круглого стержня из идеально-пластического материала определена граница, отделяющая зону упругопластического состояния материала сечения от области его пластического течения. Результаты необходимы для теоретического обоснования явления «вытяжки» проводов и тросов – остаточного неупругого удлинения длинных гибких нитей.

Ключевые слова: идеально-пластический материал, пластический шарнир, предельная нагрузка.

UDC: 624.044.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.4.28.33. **THE LIMITING STATE OF A ROUND-SECTION ROD MADE OF AN IDEALLY PLASTIC MATERIAL WHEN STRETCHED**

WITH BENDING. V.V. Mishchenko, JSC “Lengidroproekt”; e-mail: MishchenkoVV@lhp.ru

Abstract. The result of the plastic analysis of the rod is presented in the form of the dependence of the limiting bending moment on the axial force. For a round rod made of an ideally plastic material, the boundary separating the zone of the elastic-plastic state of the cross-section material from the area of its plastic flow is determined. The results are necessary for the theoretical substantiation of the phenomenon of “stretching” of wires and cables – the residual inelastic elongation of long flexible threads.

Keywords: ideal-plastic material, plastic hinge, maximum load.

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.34.38

С.В. БОСАКОВ, д.т.н., профессор Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь; e-mail: sevibo@yahoo.com

МЕТОД СИЛ В ЗАДАЧАХ ИЗГИБА ПЛАСТИНОК...34

В рассматриваемой работе излагается подход, позволяющий на основании точных решений изгиба прямоугольных и круглых пластинок в линейной постановке рассчитывать пластинки с любым числом опорных связей на вертикальную нагрузку. Подход основан на методе сил и приводит поставленную задачу к решению системы линейных алгебраических уравнений, которое закладывается в усилиях в опорных связях. Используя принцип независимости действия сил, можно определить перемещения пластинки и усилия в ней. Ранее опубликовано решение задачи об изгибе пластинок с различными опорными закреплениями смешанным методом. Наряду с предлагаемой работой эти статьи дают возможность рассчитывать различные задачи изгиба пластинок на произвольную вертикальную нагрузку с любыми видами опорных закреплений. Приводятся три примера для пластинок в декартовых и полярных координатах.

Ключевые слова: изгибаемая пластинка, опорные закрепления, метод сил, метод Ритца.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.34.38. **METHOD OF FORCES IN PROBLEMS OF PLATE BENDING. S.V. Bosakov, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic**

of Belarus; e-mail: sevibo@yahoo.com

Abstract. In the paper under consideration, an approach is presented that makes it possible, on the basis of exact solutions for the bending of rectangular and round plates in a linear setting, to calculate plates with any number of support connections for a vertical load. The approach is based on the method of forces and leads the problem to the solution of a system of linear algebraic equations, which consists in efforts in support connections. Using the principle of independence of action of forces, it is possible to determine the displacement of the plate and the forces in it. Earlier, the author published

a solution to the problem of bending plates with different support fastenings using a mixed method. Along with the proposed work, these articles make it possible to calculate various problems of plate bending for an arbitrary vertical load, with any type of support fastening. Three examples are given for plates in Cartesian and polar coordinates.

Keywords: bending plate, support fastenings, force method, Ritz method.

[Расчеты на устойчивость](#)

[Stability calculations](#)

УДК 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.39.45

С.Б. КОСИЦЫН, д.т.н., профессор, И.Е. ГРУДСЫНА Российский университет транспорта (ПУТ (МИИТ)); e-mail: grudtsyna_ira90@mail.ru
УСТОЙЧИВОСТЬ РЕБРИСТОЙ ПЛИТЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ МОСТОВОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ...39

В настоящей статье разработан и приведен алгоритм расчета устойчивости фрагмента ребристой плиты проезжей части, входящей в состав конструкции путепровода №2 через реку Волгу в Ульяновске.

Алгоритм расчета: а) линейный расчет всего пролетного строения по балочной модели; б) линейный расчет поперечной балки; в) геометрически нелинейный расчет выделенного фрагмента плиты. Рассчитан коэффициент запаса устойчивости. Линейный расчет показал, что волнообразование в пластине происходит при нагрузке $P_{кр} = 7,995 P_{расч}$, значение коэффициента запаса устойчивости из нелинейного расчета составило $P_{кр} = 5,4 P_{расч}$.

Ключевые слова: пролетное строение моста, ребристая плита, поперечная балка, устойчивость, точка бифуркации.

UDC 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.39.45. **STABILITY OF THE RIBBED SLAB OF THE BRIDGE SUPERSTRUCTURE CARRIAGEWAY.** S.B. Kositsyn, I.E. Grudtsyna, Russian University of Transport (RUT (MIIT)); e-mail: grudtsyna_ira90@mail.ru

Abstract. In the present paper, an algorithm for calculating the stability of a fragment of a ribbed slab of the roadway, which is part of the structure of overpass No. 2 across the Volga River in Ulyanovsk, is developed and presented. Calculation algorithm: a) Linear calculation of the entire span by a beam model; b) linear calculation of the cross girder; c) geometrically nonlinear calculation of a selected fragment of the slab. The stability factor was calculated. The linear calculation showed that wave formation in the plate occurs under the load $P_{кр} = 7,995 P_{расч}$; the value of the stability factor from the nonlinear calculation was $P_{кр} = 5,4 P_{расч}$.

Keywords: bridge span, ribbed slab, cross beam, stability, bifurcation point.

УДК 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.46.55

Г.А. МАНУЙЛОВ, к.т.н., доцент, С.Б. КОСИЦЫН, д.т.н., профессор, И.Е. ГРУДСЫНА Российской университет транспорта (ПУТ (МИИТ)); e-mail: grudtsyna_ira90@mail.ru
О ВЫЧИСЛЕНИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ТОЧЕК НА КРИВЫХ РАВНОВЕСИЙ В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПЛАСТИН...46

В настоящей статье представлена методика вычисления координат предельных точек на кривых равновесий для задач устойчивости подкрепленных пластин с начальными несовершенствами. Получены значения критических нагрузок и показаны соответствующие им общие и местные формы потери устойчивости из линейных и нелинейных решений. Для определения координат предельных точек на пространственных кривых использован метод неособенных продолжений, предложенный Г.А. Мануйловым. Построены диаграммы равновесных состояний связанных решений с предельными точками. Численное решение упомянутых задач показало достаточно хорошее совпадение с проведенным полуаналитическим решением для случая возникновения волнообразования в ребре.

Ключевые слова: устойчивость равновесия, подкрепленная пластина, диаграмма равновесных состояний, предельная точка.

UDC 539.3 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.46.55. **ON CALCULATION OF LIMIT POINTS ON EQUILIBRIUM CURVES IN STABILITY PROBLEMS OF STIFFENED PLATES.** G.A. Manujlov, S.B. Kositsyn, I.E. Grudtsyna, Russian University of Transport (RUT (MIIT)); e-mail: grudtsyna_ira90@mail.ru

Abstract. This paper presents a methodology for calculating limit points on equilibrium curves for stability problems of stiffened plates with initial imperfections. The values of critical loads are obtained and their corresponding general and local forms of stability loss from linear and nonlinear solutions are shown. To determine the coordinates of limit points on spatial curves, the method of non-specific continuations proposed by G.A. Manujlov is used. The diagrams of equilibrium states of connected solutions with limit points are constructed. The numerical solution of the above problems showed a good enough agreement with the semianalytical solution for the case of wave formation in an edge.

Keywords: equilibrium stability, stiffened plate, equilibrium state diagram, limit point.

[В порядке обсуждения](#)

[For the discussion](#)

УДК 691.421 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.56.62

В.И. ОБОЗОВ¹, д.т.н., проф., О.И. ПОНОМАРЕВ¹, к.т.н., А.Э. ХУДАЙНАТОВ² ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; г. Москва, e-mail: obozov@yandex.ru, ²Кирпичный завод ООО ТД «БРАЕР», г. Москва, e-mail: logvinov@braer.ru

ОПЫТ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ КРУПНОФОРМАТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ...56

Приводятся опыт испытания на огнестойкость стеновых панелей с кладкой из крупноформатных керамических камней с вертикальными пустотами с использованием конечно-элементных компьютерных моделей. Исследованы стеновые панели из камней с прямоугольными пустотами и панелей из камней с ромбовидными пустотами. Для определения наступления предела огнестойкости по прочности образца при «огневых испытаниях» на моделях использован критерий потери устойчивости конструкции по первым трем формам потери устойчивости. Исследовано на конечно-элементных моделях влияние закреплений в печах испытываемых панелей на предел огнестойкости. Исследована огнестойкость стеновой панели в виде простенка двухэтажного фрагмента стены. Преимуществом «огневых испытаний» панелей с использованием конечно-элементных компьютерных моделей является возможность оценки напряженно-деформированного состояния испытываемого образца в процессе нагрева до наступления предельного состояния.

Ключевые слова: стена, панель, огнестойкость, печь, нагрев, огневые испытания, конечно-элементная модель, крупноформатные керамические камни, прямоугольные и ромбовидные пустоты, предельное состояние, потеря устойчивости.

UDC 691.421 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.56.62. **EXPERIENCE OF FIRE TESTS OF WALL PANELS MADE OF LARGE-FORMAT CERAMIC STONES USING COMPUTER MODELS.** V.I.Obozov¹, O.I.Ponomarev¹, A.E.Khudainatov², ¹Research Institute of Building Construction named after V.A.Koucherenko JSC Research Center of Construction; e-mail: obozov@yandex.ru; ²Brick works ООО ТД «BRAER»; e-mail: logvinov@braer.ru

Abstract. The experience of testing the fire resistance of wall panels with masonry of large-format ceramic stones with vertical voids using finite element computer models is given. Wall panels made of stones with rectangular voids and panels made of stones with diamond-shaped voids were studied. To determine the occurrence of the fire resistance limit on the strength of the sample during “fire tests” on the models, the criterion of loss of stability of the structure according to the first three forms of loss of stability was used. It is investigated on finite element models of the effect of anchoring in the furnaces of the tested panels on the fire resistance limit. The fire resistance of the wall panel is investigated on finite element models of the effect of anchoring in the furnaces of the tested panels on the fire resistance limit. The fire resistance of a wall panel in the form of a two-story wall fragment is investigated. The advantage of “fire tests” of panels using finite element computer models is the ability to assess the stress-strain state of the test sample during heating before the onset of the limit state.

Keywords: wall, panel, fire resistance, furnace, heating, fire tests, finite element model, large-format ceramic stones, rectangular and diamond-shaped voids, limit state, loss of stability.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.63.72

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доцент Пятигорский институт Северо-Кавказского федерального университета; e-mail: al_marut@mail.ru

ДВУТАВРОВЫЕ ГНУТОСВАРНЫЕ ПРОФИЛИ С ПЕРФОРИРОВАННЫМИ СТЕНКАМИ И РАСЧЕТ ИХ ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПОНОВОК...63

Представлено новое техническое решение двутавровых гнутосварных профилей с перфорированными стенками и полками, замкнутыми сварными швами. Каждая из наклонных граней полок в поперечном сечении имеет форму половины круглого полукольца (выкружки) радиусом, равным высоте полок. Максимальная высота вырезов лимитирована высотой одинарной стенки. Приведен расчет оптимальных параметров по средней линии тонкостенного сечения двутавровой формы с одинарной стенкой и замкнутыми (трубчатыми) полками. В качестве двойного критерия оптимизации приняты максимум момента сопротивления сечения в силовой плоскости несущей конструкции и максимум высоты вырезов в перфорированной стенке. По результатам решения оптимизационной задачи момент сопротивления и высота вырезов максимальны, когда эта высота достигает 0,84 всей высоты профиля, а отношение размеров ширины и высоты составляет 1/6,4. Оптимизационный расчет дополнен расчетом прогиба перфобалки с использованием приведенного момента инерции сечения, определяемого из равенства площадей расчетной и условной эпюр. Выполнен сравнительный анализ расчетных параметров двутавровых прокатного и гнутосварного профилей с перфорированными стенками, основные итоги которого выявили заметный прирост монтажной (боковой) жесткости у новой модификации и подтвердили перспективность ее применения в несущих конструкциях зданий и сооружений.

Ключевые слова: двутавры, гнутосварные профили, перфорированные стенки, оптимизация сечений, расчет оптимальных параметров, балочные конструкции, перфорированные балки, перфобалки.

UDC 624.072.2.014 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.4.63.72. **I-BEAM BENT-WELDED PROFILES WITH PERFORATED WALLS AND CALCULATION OF THEIR OPTIMAL LAYOUTS.** A.S. Marutyanyan, North-Caucasus federal university; e-mail: al_marut@mail.ru.

Abstract. A new technical solution of I-beam bent-welded profiles with perforated stacks and shelves with closed welds is presented. Each of the inclined faces of the shelves in cross-section has the shape of half a round halfring (a circle) with a radius equal to the height of the shelves. The maximum height of the cutouts is limited by the height of the single wall. The calculation of optimal parameters along the middle line of a thin-walled cross-section of an I-beam shape with a single wall and closed (tubular) shelves is given. As a double optimization criterion, the maximum of the moment of resistance of the section in the force plane of the supporting structure and the maximum height of the cutouts in the perforated wall. According to the results of solving the optimization problem, the moment of resistance and the height of the cutouts are maximal when this height reaches 0.84 of the entire height of the profile, and the ratio of the width and height dimensions is 1/6.4. The optimization calculation is supplemented by the calculation of the deflection of the punch using the reduced moment of inertia of the section, determined from the equality of the areas of the calculated and conditional plots. A comparative analysis of the design parameters of I-beam rolled and bent-welded profiles with perforated the main results of which revealed a noticeable increase in the mounting (lateral) rigidity of the new modification and confirmed the prospects of its use in load-bearing structures of buildings and structures.

Keywords: I-beams, bent-welded profiles, perforated walls, optimization of cross sections, calculation of optimal parameters, beam structures, perforated beams, perforating rollers.

УДК 624.046.5 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.2.11

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

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ФЕРМ СТАТИСТИЧЕСКИМ ГЕНЕРИРОВАНИЕМ ДАННЫХ...2

Вероятностный анализ надежности строительных конструкций позволяет в количественной форме получить представление об уровне безопасности зданий и сооружений, а также выполнять сравнение различных технических решений элементов конструкций по критерию безопасности или по критерию риска. В статье рассматриваются подходы к оценке надежности стержневых систем на примере стальных ферм. Представлен новый подход к анализу надежности стержневых систем, построенный на методе статистической генерации данных. Такой подход позволяет в простой и доступной форме получить представление об уровне надежности системы, а современные вычислительные мощности делают процесс расчета оперативным даже в случае многоэлементных стержневых систем. При оценке надежности систем следует внимательно относиться к моделированию работы системы, т.к. использование гипотезы о полной независимости элементов системы может приводить к существенному занижению вероятности безотказной работы многоэлементной стержневой системы. Необходимо уделять особое внимание конструкционным особенностям фермы и моделям случайных величин. Допустимое значение вероятности безотказной работы для фермы необходимо устанавливать исходя из значения допустимого риска, отражающего социально-экономические последствия отказа системы. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-79-01035).

Ключевые слова: надежность, безопасность, вероятностное проектирование, ферма, неопределенность, генерация данных, метод Монте-Карло.UDC 624.046.5 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.2.11. **STRUCTURAL RELIABILITY ANALYSIS OF STEEL TRUSSES BASED ON DATA SAMPLING.** A.A. Soloveva, S.A. Solovev, Vologda State University; e-mail: solovevaa@vogu35.ru

Abstract. Probabilistic analysis of structural reliability allows to get a quantitative assessment of the safety level of buildings and structures, as well as to compare various technical options of structural elements by the safety criterion or by the risk criterion. The article discusses approaches to evaluation of the reliability of systems on the example of steel trusses. A new approach to the reliability analysis of trusses is presented based on the method of statistical data sampling. This approach allows to get the information of the reliability level of a system in a simple and accessible form, and modern computing techniques makes the calculation process operational even in the case of multi-element systems. In assessing the reliability of systems, it should carefully consider the modeling of the system operation, since the use of the hypothesis of complete independence of the system elements can lead to a significant underestimation of the probability of non-failure of a series system. The permissible value of the probability of non-failure for the truss must be set based on the value of the permissible risk, reflecting the socio-economic consequences of system failure. The research was funded by the Russian Science Foundation (project No. 23-79-01035).

Key words: reliability, safety, probabilistic design, truss, uncertainty, data sampling, Monte Carlo method Referen.[Нелинейные расчеты](#)[Nonlinear calculations](#)

УДК 69.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.12.21

Г.А. СМОЛЯГО^{1,2}, д.т.н., А.Е. ЖДАНОВ², к.т.н., Н.В. ФРОЛОВ¹, к.т.н., Я.Л. ОБЕРНИКИНА¹ ¹БГТУ им. В.Г. Шухова; e-mail: yana.ishuk@yandex.ru, ²ООО «Строительная экспертиза»**СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОДНОПРОЛЕТНОЙ БАЛКИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ МЕТОДОМ ЗАДАННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ...12**

В данной статье представлена методика статического расчета однопролетной балки переменной жесткости, основанная на методе заданных деформаций, при котором в качестве внешнего воздействия используется один из параметров изогнутой оси, например, угол поворота или кривизна в одном из сечений, а решение уравнения изогнутой оси осуществляется относительно величины нагрузки. При решении задач, связанных с физической нелинейностью, потребуются организация итерационного процесса, и использование рассматриваемого метода позволяет организовать устойчивый итерационный процесс, с помощью которого можно решать задачи расчета изгибаемых строительных конструкций на всех стадиях их работы, включая закритические. На основе представленной методики разработаны алгоритм и программа для ЭВМ по статическому расчету однопролетной балки переменной жесткости. В качестве воздействующего параметра на балку задается угол поворота в опорном сечении. Результатами расчета балки являются величина нагрузки, воспринимаемой балкой, прогибы, кривизны, жесткости в сечениях по всей длине балки. Для апробации разработанной методики был проведен расчет трех серий однопролетных шарнирно опертых балок, нагруженных одной сосредоточенной силой в середине пролета, имеющих по длине участки с различной изгибной жесткостью сечений. Представлены аналитические и графические результаты выполненного расчета.

Ключевые слова: изгибаемый элемент, переменная жесткость, прогиб, угол поворота, кривизна.UDC 69.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.12.21. **Static analysis of a single-span beam of variable stiffness by the method of given deformations.** G.A. Smolyago^{1,2}, A.E. Zhdanov², N.V. Frolov¹, Ya.L. Obernikhina¹. ¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, ²ООО Строительная экспертиза; e-mail: yana.ishuk@yandex.ru

Abstract. This article presents a method for static calculation of a single-span beam of variable stiffness, based on the method of specified deformations, in which one of the parameters of the curved axis is used as an external influence, for example, the angle of rotation or curvature in one of the sections, and the equation of the curved axis is solved relative to the load value. When solving problems related to physical nonlinearity, it will be necessary to organize an iterative process, and the use of the method under consideration allows organizing a stable iterative process, which can be used to solve the problems of calculating bending building structures at all stages of their work, including supercritical ones. Based on the presented methodology, an algorithm and a computer program for the static calculation of a single-span beam of variable stiffness have been developed. The angle of rotation in the reference section is set as the acting parameter on the beam. The results of the calculation of the beam are the magnitude of the load perceived by the beam, deflections, curvatures, stiffness in sections along the entire length of the beam. To test the developed method, three series of single-span hinged beams were calculated, loaded with one concentrated force in the middle of the span, having sections along the length with different bending stiffness of the sections. Analytical and graphical results of the performed calculation are presented.

Key words: bending element, variable stiffness, deflection, angle of rotation, curvature.

УДК 624.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.22.29

А.Ю. КИМ, д.т.н., доцент, В.Е. ХАПИЛИН, С.В. ПОЛНИКОВ СГТУ имени Гагарина Ю.А.; e-mail: khapilin2010@yandex.ru

РАСЧЕТ МЕМБРАНО-ПНЕВМАТИЧЕСКОГО И МЕМБРАНО-СТЕРЖНЕВОГО СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ФАКТОРОВ...22

В данной статье рассматриваются и численно исследуются два вида быстровозводимых и большепролетных сооружений: мембранно-пневматическое и мембранно-стержневое. Данные сооружения достаточно эффективные, так как их сметная стоимость примерно в два раза дешевле, чем у сооружений из традиционных материалов; положительным моментом является время их возведения, составляющее всего несколько месяцев, что в определенных условиях является очень важным. Данные сооружения предназначены для создания современной инфраструктуры в наших городах, что указывает на актуальность данной статьи. Показывается, что эти сооружения – сугубо нелинейные системы, и их точный расчет без учета нелинейности невозможен. В статье подробно описывается определение значений всех видов нелинейности таких сооружений.

Ключевые слова: мембранно-пневматические и мембранно-стержневые сооружения, расчет быстровозводимых большепролетных сооружений с учетом конструктивной и геометрической нелинейности, учет физической нелинейности сжатого воздуха и мембран линзообразного покрытия сооружения.UDC 624.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.22.29. **Calculation of membrane-pneumatic and membrane-rod structures taking into account nonlinear factors.** A.Yu. Kim, V.E. Khapilin, S.V. Polnikov, Yuri Gagarin state technical university of Saratov; e-mail: khapilin2010@yandex.ru

Abstract. In this article, two types of prefabricated and large-span structures are considered and numerically investigated: membrane-pneumatic and membrane-rod. These structures are quite effective, since their estimated cost is about two times cheaper than that of structures made of traditional materials, the positive point is that their construction time is only a few months, which in certain conditions is very important. These structures are designed to create modern infrastructure in our cities, so the topic of this article is very relevant. This article shows that these structures are purely nonlinear systems and their exact calculation is impossible without taking into account the nonlinearity. The article describes in detail the definition of the values of all types of nonlinearity of such structures.

Key words: membrane-pneumatic and membrane-rod structures, calculation of pre-erected large-span structures taking into account structural and geometric nonlinearity, taking into account the physical nonlinearity of compressed air and membranes of the lens-like coating of the structure.[Динамические расчеты](#)[Dynamic calculations](#)

УДК: 624.35:531.391.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.30.37

М.Н. КИРСАНОВ, д-р физ.-мат. наук, проф., Ц. ДАЙ Национальный исследовательский университет «МЭИ», e-mail: mpei2004@yandex.ru

ЗАВИСИМОСТЬ ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛОСКОЙ ШПРЕНГЕЛЬНОЙ ФЕРМЫ ОТ ЧИСЛА ПАНЕЛЕЙ...30

Предлагается схема статически определимой плоской фермы с нисходящими раскосами и шпренгельным упрочнением. Решаются задачи о нижней и верхней границе основной собственной частоты свободных колебаний конструкции. Принята модель с массами, сосредоточенными в узлах. Для нахождения формулы зависимости граничной частоты колебаний от числа панелей используются методы Донкерлея и Рэлея. Выражения для усилий в стержнях фермы находятся из решения системы линейных уравнений равновесия всех узлов. Для получения матрицы системы уравнений используются операторы компьютерной математики Maple. Жесткость конструкции рассчитывается по формуле Максвелла-Мора. Последовательность решений, полученных для ферм с разным числом панелей, обобщается на произвольный случай методом индукции. Для коэффициентов формулы в искомом решении составляются и решаются однородные линейные рекуррентные уравнения. Полученное решение сравнивается с численным решением задачи о спектре колебаний конструкции с многими степенями свободы. Показано, что первая частота спектра близка к ее аналитической оценке. С увеличением числа панелей в ферме точность выведенных формул растет. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00473).

Ключевые слова: плоская ферма, система компьютерной математики, индукция, число панелей, первая частота колебаний, нижняя оценка, метод Донкерлея, метод Рэлея.UDC: 624.35:531.391.3 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.30.37. **Dependence of the fundamental frequency of natural oscillations of a planar sprengel truss on the number of panels.** M.N. Kirsanov, Q. Dai, National Research University "MPEI"; e-mail: mpei2004@yandex.ru

Abstract. A scheme of a statically determined planar truss with downward braces and truss reinforcement is proposed. The problems of the lower and upper boundaries of the main natural frequency of free oscillations of the structure are solved. A model with masses concentrated at the nodes is adopted. To find the formula for the dependence of the oscillation frequency limits on the number of panels, the Dunkerley and Rayleigh methods are used. The expressions for the forces in the truss rods are found from the solution of the system of linear equilibrium equations for all nodes. To obtain the matrix

of the system of equations, Maple computer mathematics operators are used. The rigidity of the structure is calculated using the Maxwell – Mohr formula. The sequence of solutions obtained for trusses with different numbers of panels is generalized by induction to an arbitrary case. For the coefficients of the formula in the desired solution, homogeneous linear recurrent equations are compiled and solved. The obtained solution is compared with the numerical solution of the problem of the oscillation spectrum of a structure with many degrees of freedom. It is shown that the first frequency of the spectrum is close to its analytical estimate. With an increase in the number of panels in the truss, the accuracy of the derived formulas increases.

The research was funded by the Russian Science Foundation (project No. 22-21-00473).

Key words: planar truss, computer mathematics system, induction, number of panels, first oscillation frequency, lower bound, Dunkerley's method, Rayleigh's method.

[Расчеты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.5.38.43

С.В. БОСАКОВ, д.т.н., профессор Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь; e-mail: sevibo@yahoo.com
К ТОЧНОМУ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ О РАСЧЕТЕ БАЛОЧНОЙ ПЛИТЫ И ПЛАСТИНКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРА...38

В работе рассматриваются задачи расчета балочной плиты, осесимметрично нагруженных круглой и прямоугольной пластинок на упругом основании Винклера в традиционной постановке без учета касательных напряжений и односторонних связей в зоне контакта конструкции и упругого основания. Прогобы конструкции представляются в виде ряда по собственным функциям дифференциального уравнения изгибных колебаний конструкции со свободными краями. Внешняя нагрузка также раскладывается в ряд по собственным функциям. Подставляя эти разложения в дифференциальное уравнение изгиба конструкции на основании Винклера и приравнивая коэффициенты при одинаковых собственных функциях, находим выражение для прогибов конструкции. Далее по прогибам определяются усилия в конструкции. Приводятся решения задач об изгибе балочной плиты, осесимметрично нагруженных круглой и квадратной пластинок, частично нагруженных равномерно распределенной нагрузкой.

Ключевые слова: балочная плита, круглая и прямоугольная пластины, собственные функции, осесимметричное нагружение.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.5.38.43. **TOWARDS AN EXACT SOLUTION OF THE PROBLEM OF CALCULATING A BEAM SLAB AND PLATE ON AN ELASTIC WINKLER FOUNDATION. S. V. Bosakov, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus; e-mail: sevibo@yahoo.com**

Abstract. The paper examines the problems of calculating a beam slab axisymmetrically loaded with round and rectangular plates on an elastic Winkler foundation in the traditional formulation without taking into account shear stresses and one-sided connections in the contact zone between the structure and the elastic foundation. The deflections of the structure are represented as a series of eigenfunctions of the differential equation of bending vibrations of a structure with free edges. The external load is also arranged in a series according to its own functions. Substituting these expansions into the differential equation for the deflection of a structure on the Winkler base and equating the coefficients for the same eigenfunctions, we find an expression for the deflections of the structure. Next, the forces in the structure are determined from the deflections.

Solutions are given to problems of bending of a beam slab axisymmetrically loaded with round and square plates partially loaded with a uniformly distributed load.

Key words: Beam slab, round and rectangular plates, eigenfunctions, axisymmetric loading.

[В порядке обсуждения](#)

[For the discussion](#)

УДК 539.371 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.44.54

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., профессор Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru
УТОЧНЕННАЯ ЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ С УЧЕТОМ КВАДРАТИЧНЫХ СЛАГАЕМЫХ...44

Предлагается вариант линейной теории, основанный на учёте в разложении Тейлора для напряжений и в степенных рядах и разложении радикала в биномиальный ряд для деформаций не только линейных, но и квадратичных слагаемых. При этом статические уравнения равновесия в напряжениях записываются в виде дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Соблюдается закон парности касательных напряжений. Связь между деформациями и перемещениями описывается соотношениями, аналогичными соотношениям Коши, однако с учётом вторых производных от перемещений по пространственным координатам. Уравнения неразрывности деформаций для данного варианта теории упругости записываются в виде двух групп соотношений. Первая группа соотношений устанавливает уравнения неразрывности для линейных слагаемых компонентов деформации; вторая группа соотношений устанавливает уравнения неразрывности для квадратичных слагаемых компонентов деформации. Физические уравнения для данного варианта линейной теории упругости записываются так же, как и для классической линейной теории упругости. Уравнения равновесия в напряжениях представляются дифференциальными уравнениями в частных производных второго порядка. Уравнения равновесия в перемещениях записываются в виде дифференциальных уравнений в частных производных четвёртого порядка. Уравнения равновесия, так же как и уравнения неразрывности деформаций, наряду с другими параметрами – физическими константами среды – содержат малые параметры dx, dy, dz , величина которых, как показывает численное моделирование, мало влияет на характер напряжённо-деформированного состояния. Для их определения следует использовать данные экспериментов. Рассмотрено построение разрешающих уравнений как в напряжениях, так и в перемещениях для частных случаев напряжённо-деформированного состояния упругой сплошной среды: одноосное напряжённое состояние; одноосное деформированное состояние; плоская деформация; обобщённое плоское напряжённое состояние. Численно решена задача об одноосном деформированном состоянии сплошной среды (решение в напряжениях). Предложенный вариант линейной теории упругости расширяет классическую линейную теорию упругости и, при соответствующем экспериментальном обосновании, может привести к новым качественным эффектам при расчёте упругих деформируемых тел.

Ключевые слова: линейная теория упругости, квадратичные слагаемые, уравнения равновесия, уравнения неразрывности деформаций.

UDC 539.371 DOI 10.37538/0039-2383.2023.5.44.54. **REFINED LINEAR THEORY OF ELASTICITY TAKING INTO ACCOUNT QUADRATIC TERMS. S. V. Bakushev, Penza State University of Architecture and Construction; e-mail: bakuchsv@mail.ru**

Abstract. A variant of the linear theory is proposed, based on taking into account in Taylor expansions for stresses and in power series and the expansion of the radical into a binomial series for deformations of not only linear, but also quadratic terms. In this case, static equilibrium equations in stresses are written in the form of second-order partial differential equations. The law of pairing of tangential stresses is observed. The relationship between deformations and displacements is described by relations similar to Cauchy relations, but taking into account the second derivatives of displacements along spatial coordinates. The equations of continuity of deformations for this version of the theory of elasticity are written in the form of two groups of relations. The first group of relations establishes the continuity equations for the linear terms of the deformation components; The second group of relations establishes the continuity equations for the quadratic terms of the deformation components. The physical equations for this variant of the linear theory of elasticity are written in the same way as for the classical linear theory of elasticity. Equilibrium equations in stresses are represented by second-order partial differential equations. The equilibrium equations in displacements are written in the form of fourth-order partial differential equations. The equations of equilibrium, as well as the equations of continuity of deformations, along with other parameters – the physical constants of the medium – contain small parameters dx, dy, dz , the magnitude of which, as shown by numerical modeling, has little effect on the nature of the stress-strain state. To determine them, it is necessary, apparently, to use experimental data. The construction of resolving equations in both stresses and displacements for special cases of the stress-strain state of an elastic continuous medium is considered: uniaxial dressed-up state; uniaxial deformed state; plane strain; generalized plane stress state. The problem of the uniaxial deformed state of a continuous medium (solution in stresses) is numerically solved. The proposed version of the linear theory of elasticity extends the classical linear theory of elasticity and, with appropriate experimental justification, can lead to new qualitative effects in the calculation of elastic deformable bodies.

Key words: linear theory of elasticity, quadratic terms, equilibrium equations, equations of continuity of deformations.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.5.55.63

А.С. МАРУТЯН¹, к.т.н., доц., А.Г. АБОВЯН², к.т.н., доц. ¹Пятигорский институт Северо-Кавказского федерального университета; e-mail: al_marut@mail.ru ²Национальный исследовательский московский государственный строительный университет; e-mail: abovyan_1958@mail.ru
ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОЯСАМИ ИЗ ПЛОСКООВАЛЬНЫХ ТРУБ ДЛЯ ТРЕХГРАННЫХ ОПОР...55

Отмечена растущая актуальность и востребованность трехгранных решетчатых опор в различных инженерных сооружениях. Приведено новое техническое решение поясных элементов таких опор из плоскооальных профильных труб, оригинальность которого подтверждена патентной экспертизой. Плоские стенки и их полукольцевые сопряжения способствуют снижению трудоемкости и затрат на бесфасоночные узлы, сохраняя при этом обтекаемость открытых конструкций из трубчатых профилей. Решена оптимизационная задача с критерием равноустойчивости, одинаковой из плоскости и в плоскости решетки. При отношении габаритных размеров $1/1,542$ по средней линии расчетного сечения и конструктивном эксцентриситете в $1/4$ меньшего из этих размеров плоскооальный поясной элемент не только равноустойчив, но и в $1,11$ раза жестче своего круглого прототипа. При еще одном отношении габаритных размеров $1/3,064$, когда несущая способность силового сопротивления плоскооальной трубы на изгиб максимальна, поясной элемент с ее применением равноустойчив из плоскости и в плоскости решетки. Такой плоскооальный пояс в $1,19$ раза жестче круглого пояса за счет увеличения конструктивного эксцентриситета до $1/1,577$ меньшего из габаритных размеров.

Ключевые слова: стержневые конструкции, решетчатые конструкции, ферменные конструкции, трубчатые профили, профильные трубы, гнутосварные профили, оптимизация компоновки, оптимизация сечений, расчет оптимальных параметров, конструктивный эксцентриситет.

UDC 624.04 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.5.55.63. **OPTIMIZATION OF TRUSS STRUCTURES WITH BELTS OF FLAT-OVAL PIPES FOR TRIANGULAR SUPPORTS. A. S. Marutyant¹, A. G. Abovyan², ¹North-Caucasus federal university, e-mail: al_marut@mail.ru; ²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), e-mail: abovyan_1958@mail.ru**

Abstract. The growing relevance and demand for triangular lattice supports in various engineering structures is noted. A new technical solution of the belt elements of such supports from flat-oval profile pipes is given, the originality of which is confirmed by patent examination. Flat walls and their semi-circular interfaces help to reduce the complexity and costs of faceless assemblies, while maintaining the flowability of open structures made of tubular profiles. The optimization problem with the criterion of equidistance, the same from the plane and in the plane of the lattice, is solved. With a ratio of overall dimensions $1/1,542$ along the median line of the design section and a structural eccentricity of $1/4$ of the smaller of these dimensions, the plane-oval belt element is not only equally stable, but also $1,11$ times tougher than its circular prototype. With another ratio of overall dimensions $1/3,064$, when the bearing capacity of the force resistance of the plane-oval pipe to bend is maximum, the belt element with its use is equally stable from the plane and in the plane of the lattice. Such a flat-oval belt is $1,19$ times tougher than a round belt due to an increase in the structural eccentricity to $1/1,577$ of the smaller of the overall dimensions.

Key words: rod structures, lattice structures, truss structures, tubular profiles, profile pipes, bent-welded profiles, layout optimization, section optimization, calculation of optimal parameters, structural eccentricity.

УДК 624.042.8 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.5.64.69

В.Л. ХАРЛАНОВ, д.т.н., С.В. ХАРЛАНОВА, к.т.н. ИАиС ВолгГТУ; e-mail: harlanov@bk.ru

ИНКРЕМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ...64

В последовательности перемещения – деформации – напряжения возможны два вида нелинейной зависимости: геометрическая и физическая. Физическая нелинейность связана в основном с пластическими свойствами материала. Геометрическая нелинейность обусловлена более широким кругом причин. Обе нелинейности создают зависимость перемещения – нагрузки, которая в большинстве случаев может быть выражена некоторой интегральной функцией. В этом случае решение может быть получено инкрементальными (шаговыми) методами. Рассмотрены два инкрементальных метода – метод касательной жёсткости и метод расчёта по деформированной схеме. Методы применены к трём задачам геометрической нелинейности: 1) малые деформации при больших перемещениях, 2) перемещения и деформации происходят в разных направлениях, 3) большие деформации при малых перемещениях. В исследованиях рассмотрены как стержни одноосного НДС, так и стержни, моделируемые объёмными элементами. Сделаны выводы об универсальности и точности рассмотренных методов.

Ключевые слова: геометрическая нелинейность, метод касательной жёсткости, расчёт по деформированной схеме.

UDC 624.042.8 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.5.64.69. **INCREMENTAL METHODS FOR SOLVING GEOMETRICALLY NONLINEAR PROBLEMS.** V.L. Harlanov, S.V. Harlanova Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: harlanov@bk.ru

Abstract. In the sequence of displacement – deformation – stress, two types of nonlinear dependence are possible: geometric and physical. Physically related, mainly with the plastic properties of the material. Geometric nonlinearity is due to a wider range of reasons. Both nonlinearities create a nonlinear displacement-load relationship, which, in most cases, can be expressed by some integral function. In this case, the solution can be obtained by incremental (step) methods. Two incremental methods are considered: the tangential stiffness method and the calculation method using a deformed scheme. The methods are applied to three problems of geometric nonlinearity: 1) small deformations with large displacements, 2) displacements and deformations occur in different directions, 3) large deformations with small displacements. The studies considered both uniaxial stress-strain bars and bars modeled by volumetric elements. Conclusions are drawn about the universality and accuracy of the methods considered.

Key words: geometric nonlinearity, tangential stiffness method, calculation using a deformed scheme.

№ 6 за 2023 год

[Нелинейные расчёты](#)

[Nonlinear calculations](#)

УДК 69.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.2.10

П.В. ЕРЕМЕЕВ^{1,2}, Г.Н. ШМЕЛЕВ², к.т.н. ¹АО «Спецремпроект»; e-mail: pavil-66@inbox.ru, ²Казанский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: gn.shmelev@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ...2

При расчетах металлических конструкций, как правило, принимаются допущения, позволяющие рассмотреть сложную нелинейную работу конструкции в линейной постановке, а именно – отсутствие начальных напряжений, отсутствие кинематических и изотропных изменений поверхности текучести материала при пластических деформациях, тождественность поведения материала при нагружении и разгрузке и т.д. Данный подход заложен в нормативных документах и обусловлен следующими доводами: самоуравновешенные напряжения влияют на деформативность сечения, но не могут повлиять на кинематическую границу его прочности в предположении идеально упругопластического поведения материала; конструкция работает на однократное нагружение; начальные напряжения в одних зонах замедляют развитие пластических деформаций, а в других – ускоряют и т.д. Указанные допущения представляются оправданными в классических задачах прочности конструкций, в которых допускается развитие пластических деформаций. Однако в некоторых задачах эти допущения могут привести к искаженному или ошибочному результату. В рамках статьи описано дополнение метода переменных параметров упругости в формулировке нелинейной деформационной модели, позволяющее снять вышеперечисленные допущения. Алгоритм реализован на языке Python и проверен на двух верификационных задачах, также рассмотрен процесс нагружения двутаврового сечения с учетом остаточных напряжений. Результаты численного расчета показали близкие значения с аналитическими решениями и качественно соответствуют общеизвестным представлениям о цикловой работе конструкций.

Ключевые слова: метод переменных параметров упругости, нелинейная деформационная модель, алгоритм «сечение», остаточные напряжения.

UDC 69.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.2.10. **APPLICATION OF THE METHOD OF VARIABLE ELASTICITY PARAMETERS FOR SOLVING PROBLEMS OF ALTERNATING ELASTIC-PLASTIC LOADING OF METAL ROD STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT RESIDUAL STRESSES.** P.V.Eremeev^{1,2}, G.N.Shmelev², JSC “Spetsremproekt”; e-mail: pavil-66@inbox.ru; ²Kazan State University of Architecture and Engineering; e-mail: gn.shmelev@mail.ru

Abstract. When calculating metal structures, as a rule, assumptions are made that allow us to consider the complex nonlinear operation of the structure in a linear formulation, namely, the absence of initial stresses, the absence of kinematic and isotropic changes in the flow surface of the material during plastic deformations, the identity of the behavior of the material during loading and unloading, etc. This approach is laid down in regulatory documents and is due to the following arguments: self-balanced stresses affect the deformability of the section, but cannot affect the kinematic boundary of its strength under the assumption of an ideally elastic-plastic behavior of the material; the design works for a single load; initial stresses in some zones slow down the development of plastic deformations, and in others accelerate, etc. These assumptions seem to be justified in the classical problems of structural strength, in which the development of plastic deformations is allowed. However, in some tasks, these assumptions can lead to a distorted or erroneous result. The article describes the addition of the method of variable elasticity parameters in the formulation of a nonlinear deformation model, which makes it possible to remove the above assumptions. The algorithm is implemented in Python and tested on two verification tasks, and the process of loading the I-beam section taking into account residual stresses is also considered. The results of numerical calculation showed similar values with analytical solutions and qualitatively correspond to well-known ideas about the cyclic operation of structures.

Key words: Method of variable elasticity parameters, nonlinear deformation model, “cross section” algorithm, residual stresses.

УДК 517.972.5+624.04+624.07 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.11.19

А.В. ЕРМАКОВА, к.т.н., доцент ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»; e-mail: annaolga11@gmail.com

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МДКЭ КАК НОВОГО ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ДЛЯ РАСЧЕТА N-НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ...11

В статье дана оценка метода дополнительных конечных элементов (МДКЭ) с точки зрения теории численных методов. МДКЭ является вариантом метода конечных элементов (МКЭ). Этот вариант расширяет возможности МКЭ при расчете N-нелинейных систем, работающих в условиях постепенного роста прилагаемой нагрузки и числа проявляемых физически нелинейных свойств. Математическое моделирование этого процесса осуществляется введением дополнительных конечных элементов (ДКЭ), входящих в дополнительные расчетные схемы (ДРС). Это обеспечивает последовательное преобразование основной разрешающей системы уравнений на каждом этапе расчета. Последний этап связан с наступлением предельного состояния рассматриваемой системы, когда ее расчетная схема превращается в идеальную модель разрушения (ИМР).

Ключевые слова: метод дополнительных конечных элементов, метод конечных элементов, дополнительный конечный элемент, дополнительная расчетная схема, идеальная модель разрушения, предельное состояние.

UDC 517.972.5+624.04+624.07 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.11.19. **THEORETICAL ESTIMATION OF AFEM AS NEW NUMERICAL METHOD FOR ANALYSIS OF N-NONLINEAR SYSTEMS AT LIMIT STATES.** A.V. Ermakova, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “South Ural State University (national research university)”; e-mail: annaolga11@gmail.com

The paper presents the theoretical estimation of Additional Finite Element Method (AFEM) from the point of view of the Numerical Method Theory. AFEM is the variant of Finite Element Method (FEM). This variant extends FEM abilities for analysis of N-nonlinear systems under the growth of applied load and the number of physical nonlinear properties. Mathematical modeling process realizes by introduction of additional finite elements (AFE-s) into additional design diagrams (ADD-s). This helps the gradual transformation of main set of equations at every step of analysis. The last step is the limit state moment of considered system, when their design diagram transmits into ideal failure model (IFM).

Key words: additional finite element method, finite element method, additional finite element, additional design diagram, ideal failure model, limit state.

[Расчёты на прочность](#)

[Strength calculations](#)

УДК 69.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.20.32

В.П. АГАПОВ¹, д.т.н., проф., А.С. МАРКОВИЧ^{1,2}, к.т.н., доцент ¹Инженерная академия РУДН, ²НИУ МГСУ; e-mail: markovich-as@rudn.ru

ШЕСТИПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ БЕТОНА...20

На основании проведенных авторами экспериментов разработан шестипараметрический критерий прочности для бетонов, позволяющий учитывать объемное напряженное состояние в расчетах массивных бетонных и железобетонных конструкций на прочность. Разработанный критерий прочности адаптирован к пространственному восьмиузловому конечному элементу (тип solid) и реализован в вычислительном комплексе ПРИНС. Для верификации разработанного критерия в работе приводится сравнение как с экспериментальными данными, так и с результатами расчетов, отвечающими другим, широко применяемым для бетонов, критериям прочности. Сравнение результатов показало достоверную оценку прочности бетона в режиме как низких, так и высоких средних напряжений.

Ключевые слова: критерий прочности для бетона, критерий Друкера – Прагера, критерий Виллама – Варнке, метод конечных элементов, вычислительный комплекс ПРИНС, строительные конструкции, массивные железобетонные сооружения, физическая нелинейность, механика деформируемых тел.

UDC 69.04 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.20.32. **SIX-PARAMETER FAILURE CRITERION FOR CONCRETE.** V.P. Agapov¹, A.S. Markovich^{1,2}, ¹Academy of Engineering of RUDN University, ²National Research Moscow State University of Civil Engineering; e-mail: markovich-as@rudn.ru

Abstract. Based on the experiments conducted by the authors, a six-parameter failure criterion for concrete has been developed, which makes it possible to take into account the volumetric stress state in strength calculations of massive concrete and reinforced concrete structures. The developed strength criterion is adapted to a spatial eight-node finite element (solid type) and implemented in the PRINS software. To verify the developed criterion, the work provides a comparison with both experimental data and calculation results that meet other strength criteria widely used for concrete. A comparison of the results showed a reliable assessment of the strength of concrete in the mode of both low and high average stresses.

Key words: failure criterion for concrete, Drucker & Prager criterion, Willam & Warnke criterion, finite element method, PRINS software, building structures, massive reinforced concrete structures, physical nonlinearity, mechanics of deformable bodies.

УДК 539.3/6 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.33.40

В.Н. СИМБИРКИН^{1,2}, к.т.н., Е.В. ПОЗНЯК³, д.т.н., А.Ю. ВИКТОРОВ³, Е.Ю. ОСИПОВ¹ ¹ООО«ЕВРОСОФТ», ²ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко АО«НИЦ«Строительство», ³НИУ «МЭИ»; e-mail: PozniakYV@mpei.ru

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ И ОГНЕСОХРАННОСТЬ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ СТАРКОН...33

Представлен программный модуль RCDiagra, входящий в состав отечественного программного комплекса СТАРКОН. Программный модуль предназначен для расчета напряженно-деформированного состояния сечений железобетонных балок и колонн, включая проверочный расчет на огнестойкость и огнесохранность. Расчет сечений проводится по нелинейной деформационной теории с возможностью учета изменения расчетных свойств бетона и арматуры вследствие нестационарного теплового воздействия. Для определения коэффициентов условий работы, коэффициентов изменения модулей упругости бетона и арматуры, предельных относительных деформаций выполняется теплотехнический расчет в соответствии с СП 468.1325800.2019 [2] и МДС 21-2.2000. В ходе теплотехнического расчета решается задача определения температурного поля в сечении при нестационарном тепловом воздействии в зависимости от граничных условий и теплофизических параметров материала. Предполагается, что коэффициенты теплопроводности и удельной теплоемкости бетона зависят от текущей температуры в точках сечения.

Ключевые слова: огнестойкость, огнесохранность, железобетонные конструкции, нелинейная деформационная теория, поле температур, поле напряжений. UDC 539.3/6 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.33.40. **FIRE RESISTANCE AND FIRE SAFETY ANALYSES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL ELEMENTS WITH STARKON SOFTWARE.** V.N.Simbirkin^{1,2}, E.V.Poznyak³, A.Yu.Viktorov³, E.Yu.Osipov¹, ¹LLC “EUROSOFT”, ²Research. Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A.Kucherenko JSC Research Center of Construction, ³National Research University “MPEI”; e-mail: PozniakYV@mpei.ru

Abstract. RCDiagra software as a part of the domestic STARKON software is presented. The software is designed to perform fire resistance and fire safety analysis of reinforced concrete beams and columns. The strength analysis is based on the nonlinear deformation theory and enables to take into account non-stationary thermal effects changing the concrete and reinforcement properties. To determine the ultimate strength, elastic modulus for concrete and reinforcement, ultimate relative deformations, a thermal analysis is performed in accordance with SP 468.1325800.2019 and MDS 21-2.2000. The thermal engineering analysis solve the problem of determining the temperature field in the beam cross-section under non-stationary thermal action, depending on the boundary conditions and thermophysical parameters of the material. It is assumed that the coefficients of thermal conductivity and specific heat capacity of concrete depend on the current temperature at the crosssection points. **Keywords:** fire resistance, fire safety, reinforced concrete structures, nonlinear deformation theory, temperature field, stress field.

УДК 624.011.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.41.48

С.А. МАЛБИЕВ, к.т.н. ООО НПП «Инженер-Строй», г. Иваново; e-mail: nata.khomch@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ...41

Рассматривается влияние температурных воздействий на техническое состояние перекрестностержневых пространственных конструкций (ПСПК) из полимерных строительных материалов (ПСМ) на примере трубчатых элементов из поливинилхлорида (ПВХ). Из многочисленных научных исследований различных авторов известно, что пониженные и повышенные температуры существенно влияют на механическую безопасность конструктивных пластмасс: прочность при растяжении-сжатии, изгибе, потерю устойчивости, кручение, что в конечном итоге снижает эксплуатационную надежность и долговечность ПСПК. В действующей нормативно-технической строительной документации по нагрузкам и воздействиям предусмотрены только климатические температурные воздействия. В документации по строительным конструкциям технологические температурные воздействия не учитывают фактор времени. Рассмотрено в нелинейной постановке и общее решение задачи нестационарного теплопереноса цилиндрического элемента для расчета двумерного поля температур отдельно для стержневого цилиндрического элемента и узлового соединения в системе «цилиндр – цилиндр». Приведены графические иллюстрации расчетов.

Ключевые слова: температурные воздействия; фактор времени; пространственные строительные конструкции зданий и сооружений; теплопроводность; стержни цилиндрической трубчатой формы; нестационарный теплоперенос; стержневые конструкции космической техники.

UDC 624.011.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.41.48. **IMPROVING THE CALCULATION OF SPATIAL ROD STRUCTURES FROM POLYMER MATERIALS TAKEN INTO ACCOUNT OF TEMPERATURE INFLUENCE.** S.A. Malbiev, Scientific and production enterprise “Engineer-Story”; e-mail: nata.khomch@yandex.ru

Abstract. The influence of temperature effects on the technical condition of cross-bar spatial structures (CSRS) made of polymer building materials (PSM) is considered using the example of tubular elements made of polyvinyl chloride (PVC). From numerous scientific studies by various authors, it is known that low and high temperatures significantly affect the mechanical safety of engineering plastics: tensile-compressive strength, bending, loss of stability, torsion, which ultimately reduces the operational reliability and durability of CSRS. The current regulatory and technical construction documentation on loads and impacts provides only climatic temperature impacts. In the documentation for building structures, technological temperature effects do not take into account the time factor. The general solution to the problem of unsteady heat transfer of a cylindrical element is considered in a nonlinear formulation to calculate the two-dimensional temperature field separately for the rod cylindrical element and the node connection in the “cylinder-cylinder” system. Graphic illustrations of the calculations are provided.

Key words: temperature effects; time factor; spatial building structures of buildings and structures; thermal conductivity; cylindrical tubular rods; non-stationary heat transfer; core structures of space technology.

[Численные расчеты](#)
[Numerical calculations](#)

УДК 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.49.53

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ДЛИНЫ ПОЯСА ФЕРМЫ ПРИ УПРУГОМ ПОДКРЕПЛЕНИИ ИЗ ПЛОСКОСТИ...49

Представлен алгоритм определения расчетной длины для сжатого пояса U-образной фермы численными методами, выполнено сравнение результатов с аналитическими расчетами [6]. Классическое связевое решение по раскреплению сжатых поясов ферм любых пролётных строений предполагает постановку связевых блоков, которые исключают смещение узлов ферм из плоскости. В инженерной практике существуют решения, в которых отсутствует конструктивная возможность постановки связевых блоков по сжатым поясам ферм. Примером являются U-образные фермы надземных открытых пешеходных мостов, в которых ходовое полотно расположено в уровне нижних поясов, а верхние пояса ферм расположены на отметке поручней ограждения. Конструктивное решение U-образной фермы представлено на рисунке 1. В нормах [1] приведены формулы для определения расчетной длины пояса фермы (неразрезного стержня) с различными сжимающими усилиями на участках, но отсутствует инженерная методика вычисления расчетной длины пояса фермы в зависимости от упругого бокового подкрепления. Благодаря тому, что отечественные нормы [1], [2] и [4] устанавливают четкие математические законы вычисления расчетных длин сжатых стержней, решение поставленной инженерной задачи возможно, например, с привлечением численных методов.

Ключевые слова: критическая сила Эйлера, коэффициент запаса по устойчивости, коэффициент устойчивости при центральном сжатии, расчетная длина, устойчивость, U-образные фермы, алюминиевые пешеходные переходы.

UDC 624.014.2 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.49.53. **TO DEFINE BUCKLING LENGTH OF CORD OF TRUSS SYSTEM WITH THE ELASTIC SUPPORT OUT OF PLANE.** A.E. Svyatoshenko, State Autonomous Institution of the Nizhny Novgorod Region “State Expertise Department”; e-mail: sae-2004@yandex.ru

Abstract. An algorithm for determining the effective length for a compressed chord of a U-shaped truss using numerical methods is presented, and the results are compared with analytical calculations [6]. The classic bracing solution for bracing compressed truss chords of any spans involves the installation of bracing blocks that prevent the truss nodes from moving out of plane. In engineering practice, there are solutions in which there is no constructive possibility of installing tie blocks along compressed chords of trusses. An example is the U-shaped truss of overhead open pedestrian bridges, in which the running surface is located at the level of the lower chords, and the upper chords of the trusses are located at the level of the handrails of the fence. The design solution of a U-shaped truss is presented in Figure 1. The standards [1] provide formulas for determining the design length of a truss chord (continuous rod) with different compressive forces in sections, but there is no engineering method for calculating the design length of a truss chord depending on elastic lateral torsional. Due to the fact that domestic standards [1], [2] and [4] establish clear mathematical laws for calculating the design lengths of compressed rods, solving the posed engineering problem is possible, for example, using numerical methods.

Key words: Euler critical force, stability safety factor, stability factor under central compression, effective length, stability, U-shaped trusses; aluminum pedestrian crossings.

[Сейсмические расчеты](#)
[Seismic calculations](#)

УДК 624.042.7 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.54.61

А.М. УЗДИН¹, д.т.н., проф., Х.Н. МАЖИЕВ², д.т.н., проф., Л.Н. СМЕРНОВА⁴, к.т.н., Г.В. СОРОКИНА¹, к.т.н., доцент, Х.Р. ЗАЙНУЛАБИДОВА³, к.т.н., доцент, Ш.Ш. НАЗАРОВА¹, А.А. НАЗАРОВ¹ ¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра, ²Грозненский государственный нефтяной технический университет, ³Дагестанский государственный технический университет, ⁴АО«НИЦ«Строительство»; e-mail: lyubovsmirnova80@gmail.com

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ ПО АКСЕЛЕРОГРАММАМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ...54
Проанализированы основные проблемы динамического расчета сооружений с использованием акселерограмм землетрясений. Рассмотрены задачи задания расчетных акселерограмм, моделирования жестких и демпфирующих свойств сооружения, а также обоснования критериев сейсмостойкости сооружения. Рассмотрено задание воздействия для сооружения и для площадки строительства. Сформулированы требования к оцифровке акселерограмм и к количеству расчетных акселерограмм для площадки строительства, достаточному для оценки сейсмостойкости сооружения. Указаны сложности построения расчетных акселерограмм и учета в расчетах накопления повреждений в сооружении в процессе сейсмических колебаний. Отмечено, что расчет по акселерограммам сильных землетрясений легко реализуем только для сооружений с заданными параметрами предельных состояний. Для линейных расчетов отмечается проблема задания демпфирования в системе. Рассмотрены критерии предельных состояний по ограничению работы сил пластического деформирования и по повреждаемости сооружения.

Ключевые слова: динамический расчет, сейсмостойкость, акселерограмма, демпфирование, линейно-спектральный метод, сейсмическое воздействие, работа сил пластического деформирования, спектр повреждаемости сооружения, одномассовый осциллятор.

UDC 624.042.7 DOI 10.37538/0039-2383.2023.6.54.61. **PROBLEMS OF USING DYNAMIC METHODS FOR CALCULATING SEISMIC RESISTANCE OF STRUCTURES BASING ON EARTHQUAKE ACCELEROGRAMS.** A.M. Uzdin¹, H.N. Mazhiev², L.N. Smirnova⁴, G.V. Sorokina¹, H.R. Zainulabidova³, Sh.Sh. Nazarova¹, A.A. Nazarov¹, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, ²Grozny State Oil Technical University, ³Dagestan State Technical University, ⁴JSC Research Center of Construction; e-mail: lyubovsmirnova80@gmail.com

Abstract. The main problems of structures dynamic calculation using earthquake accelerograms are analyzed. The problems of setting design accelerograms, modeling rigidity and damping structure properties, as well as substantiating the seismic resistance criteria of structures are considered. The design seismic action generated for the structure and for the construction site is considered. Requirements are formulated for the accelerogram digitization and for the number of design accelerograms for a construction site, sufficient for assessing the structure seismic resistance. The difficulties of constructing design accelerograms and taking into account in calculations the accumulation of damage in a structure during seismic vibrations are indicated. It is noted, that calculations using accelerograms of strong earthquakes can be easily made only for structures with given parameters of limit states. For linear calculations, the problem of taking the system damping into account is analyzed. The criteria for limit states limiting the work of plastic deformation forces and the damageability of a structure are considered.

Key words: dynamic calculation, seismic resistance, accelerogram, damping, linear spectral method, seismic action, operation of plastic deformation forces, damage spectrum of the structure, single-mass oscillator.

[Нормирование](#)
[Standardization](#)

УДК 624.012.6 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.62.73

И.И. ВЕДЯКОВ, д.т.н., проф., Д.В. КОНИН, к.т.н., И.В. РТИЩЕВА ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»»; e-mail: rtischevaiv@ya.ru
ФОРМИРОВАНИЕ НОРМ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МНОГОСЛОЙНОГО СТЕКЛА...62

Согласно Ф3-384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», при использовании на объекте строительства ненормированных технологий и материалов требуется подтверждение их несущей способности экспериментальными исследованиями, разработка специальных технических условий. В 2023 году сформирован и выпущен первый нормативный документ, рассматривающий стеклянные конструкции в качестве несущих – это новый Свод Правил 521.1325800.2023 «Конструкции из многослойного стекла. Правила проектирования», который расширяет возможности проектирования. Готовится к выпуску новый ГОСТ «Конструкции стеклянные несущие. Методы испытаний», нормирующий порядок проведения испытаний. В статье приведены результаты и анализ испытаний конструкций из стекла, выполняемых специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко при формировании нормативной документации, а также для её расширения и уточнения.

Ключевые слова: закалённое стекло, неупрочнённое стекло, многослойное стекло, несущий элемент, нормативная документация, прочность, деформативность.

UDC 624.012.6 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.62.73 **FORMATION OF STANDARDS FOR DESIGNING SUPPORTING STRUCTURES MADE OF LAMINATED GLASS.** I.I. Vedyakov, D.V. Konin, I.V. Rtishcheva, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A.Koucherenko JSC Research Center of Construction; e-mail: rtischevaiv@ya.ru.

According to Federal Law No. 384 “Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures”, when non-standardized technologies and materials are used at a construction site, confirmation of their load-bearing capacity by experimental research and the development of special technical conditions are required. In 2023, the first regulatory document was formed and released considering glass structures as load-bearing structures – this is the new Code of Rules 521.1325800.2023 “Structures made of laminated glass. Design Rules”, which expands design capabilities. A new GOST “Glass load-bearing structures” is being prepared for release. Test methods”, regulating the testing procedure. The article presents the results and analysis of tests of glass structures performed by specialists from TSNIISK named after V.A. Koucherenko in the formation of regulatory documentation, as well as for its expansion and clarification.

Key words: tempered glass, non-strengthened glass, laminated glass, load-bearing element, regulatory documentation, strength, deformability.

[В порядке обсуждения](#)
[For the discussion](#)

УДК 624.05 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.74.80

А.В. ДМИТРИЕВ, к.т.н., В.Г. СОКОЛОВ, д.т.н., доцент, И.О. РАЗОВ, к.т.н., доцент Тюменский индустриальный университет; e-mail: dmitrievav@tyuiu.ru
АРМИРОВАНИЕ СТЕН И ПЕРЕКРЫТИЯ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ...74

В продолжение работы по установлению оптимальных геометрических размеров конструкций, предназначенных для возведения здания с помощью аддитивных технологий, определяются основные конструктивные подходы по армированию стен и перекрытия. В качестве основного варианта устройства перекрытия принята поворотная сегментная конструкция с длиной полуволны 0,6 м, при этом угол наклона соединительного элемента между верхним и нижним поясом равен 270, для конструкции стены принято аналогичное конструктивное решение. Расчёт ведётся методом конечных элементов. Моделирование выполняется оболочками с постановкой абсолютно твёрдых тел в месте сопряжения волны и поясов конструкций. Результаты расчёта по армированию показывают, что для конструкции стен общей толщиной 400 мм следует выполнять только конструктивное армирование в месте опирания перекрытия, для поворотных сегментов перекрытия общей толщиной 250 мм армирование обязательно и не зависит от длины пролёта. Вычислен диаметр арматуры для пролётов в диапазоне 3,0-8,4 м конструкции перекрытия и различных полезных нагрузок, по результатам подбора армирования сделан вывод, что пролёты поворотных сегментов перекрытия следует выполнять не более 7,2 м. Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания в сфере науки на выполнение научных проектов, реализуемых коллективами научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России по проекту «Новые материалы и технологии возведения зданий, сооружений и их элементов с применением роботизированных аддитивных систем» (проект № FEWN-2023-0004).

Ключевые слова: аддитивные технологии в строительстве, 3D строительная печать, роботизированная экструзия, армирование конструкций.

UDC 624.05 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.74.80. **REINFORCEMENT OF WALLS AND CEILINGS IN THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS USING ADDITIVE TECHNOLOGIES.** A.V. Dmitriev, V.G. Sokolov, I.O. Razov, Tyumen Industrial University; e-mail: dmitrievav@tyuiu.ru

Abstract. In continuation of the work on the establishment of optimal geometric dimensions of structures intended for the construction of buildings using additive technologies, the main structural approaches for the reinforcement of walls and floors are determined. As the main variant of the overlap device, a rotary segmental structure with a half-wave length of 0,6 m was adopted, while the angle of inclination of the connecting element between the upper and lower belt is 270, a similar design solution was adopted for the wall structure. The calculation is carried out by the finite element method. Modeling is performed by shells with absolutely rigid bodies at the interface of the wave and the belts of structures. The results of the reinforcement calculation show that for the construction of walls with a total thickness of 400 mm, reinforcement should be performed only constructively at the point of the overlap support, for the pivoting segments of the overlap with a total thickness of 250 mm, reinforcement is mandatory and does not depend on the length of the span. The diameter of the reinforcement for spans in the range of 3,0-8,4 m of the overlap structure and various payloads is calculated, according to the results of the reinforcement selection, it is concluded that the spans of the rotating segments of the overlap should be performed no more than 7,2 m. The article was prepared as part of the implementation of the state task in the field of science for the implementation of scientific projects implemented by the teams of scientific laboratories of educational institutions of higher education subordinate to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the project “New materials and technologies for the construction of buildings, structures and their elements using robotic additive systems” (No. FEWN-2023-0004).

Key words: additive technologies in construction, 3D construction printing, reinforcement, robotic extrusion.

[В помощь проектировщику](#)
[To help the designer](#)

УДК 691:620.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.81.86

О.И. ПОНОМАРЕВ, к.т.н., И.В. БЕССОНОВ, к.т.н., А.Ю. ДОЗОРОВА, Е.А. ПАВЛОВА ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»»; e-mail: 1701088@mail.ru

ОЦЕНКА МОРОЗОСТОЙКОСТИ КЛАДОЧНЫХ СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ С УЧЕТОМ МЕТОДИКИ ВЛАГОНАСЫЩЕНИЯ В РОССИЙСКИХ НОРМАХ И СТАНДАРТАХ...81

В целях совершенствования нормативных документов в области кирпичных и каменных конструкций выполнен сравнительный анализ оценки морозостойкости кладочных стеновых изделий широкого применения в практике строительства. В нормативных документах выявлено несоответствие в части оценки морозостойкости кладочных изделий. В частности, в СП 15.13330.2020 [2] и ГОСТ 7025-91 [4] один индекс F для определения морозостойкости керамических, силикатных изделий, а также морозостойкость бетонных, керамзитобетонных и ячеистобетонных блоков, что вводит в заблуждение потребителей и проектировщиков. В целях устранения отмеченных неточностей в статье даны предложения по корректировке СП 15.13330 и ГОСТ 7025.

Ключевые слова: сравнительный анализ, кладочные стеновые изделия, морозостойкость, ячеистобетонные и керамзитобетонные блоки, объемное и одностороннее замораживание, нормативные документы и стандарты.

UDC 691:620.1 DOI: 10.37538/0039-2383.2023.6.81.86. **FROST RESISTANCE OF MASONRY UNITS TAKING INTO ACCOUNT THE MOISTURE SATURATION TECHNIQUE IN RUSSIAN CODES AND STANDARD.** O.I. Ponomarev, I.V. Bessonov, A.Yu. Dozorova, E.A. Pavlova, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A.Koucherenko JSC Research Center of Construction; e-mail: 1701088@mail.ru

Abstract. In order to improve the Russian codes in the field of brick and masonry structures, a comparative analysis of frost resistance assessment of masonry wall products of wide application in construction practice was carried out. The Russian codes revealed inconsistencies in the assessment of frost resistance of masonry products. In particular, in SP 15.13330.2020 [2] and GOST 7025-91 [4] one index F for determining the frost resistance of ceramic, silicate products, as well as the frost resistance of concrete, expanded clay and cellular concrete blocks, which misleads consumers and designers. In order to eliminate the noted inaccuracies, the article gives proposals for adjustments to SP 15.13330 and GOST 7025.

Key words: comparative analysis, masonry wall products, frost resistance, cellular concrete and expanded clay concrete blocks, volumetric and one-sided freezing, Russian codes and standards.