



№ 1 за 2017 год

**ГЕНИЕВ Г.А., д.т.н., проф., член-корр. РААСН, ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, г.Москва
ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ СРЕД, ОБЛАДАЮЩИХ АКСЕРАЦИОННОЙ ВЯЗКОСТЬЮ...9**

Построена математическая модель для аналитического описания реологических свойств вязких и упруго-вязких твердых тел и жидкостей, физические зависимости которых выходят за рамки определяющих соотношений чисто вязкой – ньютоновской модели среды и упруговязкой модели Фойгта, устанавливающих соответственно линейные зависимости между компонентами тензоров напряжения и скоростей деформаций и компонентами напряжения P и компонентами тензоров деформаций S и скоростей деформаций \dot{S} . Приведенные физические зависимости и определяющие уравнения могут быть использованы при описании закономерностей движения некоторых видов связанных грунтов в том числе в задачах сейсмологии и достаточно пластичного литого бетона.

Ключевые слова: вязкие, упруго-вязкие тела, тензоры напряжения и скоростей деформаций, линейные зависимости, связанные грунты, задачи сейсмологии.

UDC 624.072.5.393. Geniev G.A. **Mechanics of environments with accelerating viscosity.**

The mathematical model for analytical description of the rheological properties of viscous and elastic-viscous solids and liquids is developed. Their physical dependences go beyond the constitutive equations for purely viscous Newton model of environment and the elastic-viscous Voigt model, setting respectively the linear relationships between components of stress tensors and strain rate and R stress components and S deformation tensors components and strain rate. The given physical dependences and constitutive equations can be used for description of movement patterns of some types of cohesive soils including problems of seismology and rather plastic and mushy concrete.

Key words: bviscous, elastic-viscous body, tensors of stress, strain rate, linear dependences of cohesive soils, problems of seismology.

**ГЕНИЕВ Г.А., д.т.н., проф., член-корр. РААСН, ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ К.П., д.т.н., гл.научный сотрудник ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, г.Москва,
ВОПРОСЫ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК...14**

Выполнена оценка длительной прочности бетонных элементов оболочек и других конструкций, работающих по пространственной схеме. Используются критерии длительной прочности хрупких или псевдопластических материалов, в основу разработки которых положены простейшие реологические законы изменения их деформационных и энергетических параметров во времени при действии постоянных или переменных статических нагрузок. При максимальной нагрузке, меньшей предельной, рекомендовано проверять несущую способность при циклическом нагружении.

Ключевые слова: длительная прочность, пространственные конструкции, сложное напряженное состояние, швы между элементами, критерий прочности.

UDC 624.072. Geniev G.A., Pjatkrestovsky K.P. **About long-term strength of recast reinforced concrete shells.**

The long-term strength of recast reinforced concrete shells with the use of the appropriate strength criteria of fragile materials is studied. These criteria are applicable to concrete of joint seals and plates of the contour zones which are in a complex stressed condition. As a basis for development of strength criteria for fragile materials the elementary rheology laws of alteration of their deformation and energy parameters in time are fixed. The determining equation of long-term strength is obtained. The technique of a computation allows a qualitative and quantitative assessment of long-term strength of the various structural solutions of the shells.

Key words: long-term strength, spatial design, complex state of stress, the joints between the elements, the strength criterion.

Расчёты на прочность

С.В. БОСАКОВ, д.т.н., проф. РУП «Институт БелНИИС», г. Минск

ЛИНЕЙНЫЕ И УГЛОВЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КВАДРАТНОГО ШТАМПА С СИММЕТРИЧНЫМ КВАДРАТНЫМ ОТВЕРСТИЕМ НА УПРУГОМ СЛОЕ...20

Рассмотрена контактная задача для нагруженного силой и моментом квадратного штампа, лежащего на упругом слое. Расчет выполнен способом Б.Н. Жемочкина. Приводятся результаты для распределения контактных напряжений и угловых и вертикальных перемещений квадратного штампа от внешней нагрузки в виде силы и момента.

Ключевые слова: контактная задача, упругий слой, квадратный штамп, контактные напряжения.

UDC 624.15. Bosakov S.V. **Linear and angular displacements of square die with symmetric square hole on elastic layer.**

The contact problem for a square circular die loaded by force and moment lying on an elastic layer is considered. The calculation is made by B.N. Zhemochkin's method. The results for the distribution of the contact stresses and the angular and vertical displacements of the square circular die under the external load in the form of force and moment are presented.

Key words: contact problem, elastic layer, square die, contact stress.

Е.И. БРИТВИН, канд.физ.мат.наук ДПСК, г.Днепр, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ МАТРИЦЫ ЖЕСТКОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА...23

На базе аналитического решения полной системы уравнений деформации тонкостенных стержней открытого профиля строится матрица жесткости элемента. Решение дается с учетом деформации сдвига как от поперечных сил, так и от крутящего момента, ответственного за стесненное кручение.

Ключевые слова: расчет конструкций, конечный элемент, тонкостенный стержень, деформация, бимомент, матрица жесткости тонкостенного стержня.

UDC 624.044. Britvin E.I. **Stiffness matrix of thin walled bars with the influence of shear strain formation.**

The stiffness matrix of thin-walled open section bars is constructed basis on the analytical solution of the complete system of equations of deformation of thin-walled section. The solution is given in view of a shear deformation of the lateral forces as well of the torque responsible for bending torsion.

Key words: structural analysis, finite element, thin-walled bar, warping, bimoment, stiffness matrix of thin-walled bar.

А.С. КРАВЧУК, д.физ.мат.наук, доц, А.И. КРАВЧУК, канд.физ.мат.наук, доц., И.А. ТАРАСЮК, инж.Белорусский ГУ, г.Минск, Беларусь

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЛАМЕ ДЛЯ ПЛОСКОСТИ С ОТВЕРСТИЕМ В СЛУЧАЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЕЕ МАТЕРИАЛА...29

В задаче Ляме для плоскости с отверстием отсутствуют сдвиги, что ставит под сомнение необходимость использования девиаторов напряжений и деформаций, а также интенсивности деформаций и напряжений. На взгляд авторов, данная задача может быть решена для материалов с симметричной нелинейной диаграммой растяжения/сжатия (для нормальных напряжений и деформаций) при использовании геометрически нелинейной интерпретации задачи, заключающейся в том, что для плоскости с отверстием необходимо рассмотреть несколько концентрических слоев, суммарная толщина которых соответствует глубине проявления нелинейности материала. В этом случае диаграммы деформирования материалов концентрических слоев определяются как секущие прямые нелинейной диаграммы деформирования материала плоскости в предположении о постоянстве и равенстве для всех материалов коэффициентов Пуассона. Решение вспомогательной задачи проводится методом, характерным для теории композиционных материалов, согласно которому реальное напряженное состояние объекта принадлежит оценочной области, границами которой являются решения, полученные на основании гипотез Фойгта и Рейсса о непрерывности деформаций и напряжений в слоистой плоскости, соответственно.

Ключевые слова: задача Ляме, гипотеза Фойгта, гипотеза Рейсса, нелинейно деформируемый материал, композиционный материал.

UDC 539.3. A.S. Kravchuk, A.I. Kravchuk, I.A. Tarasyuk. **Generalization of lame solution of the problem for plane with hole for geometric nonlinear equation of state of its material.**

There are no shear displacements in the Lamé's problem for a plane with a hole and this fact casts doubt on the necessity of using deviators of stresses and strains, as well as the intensity of strain and stress. In the authors' opinion, this problem can be solved for materials with symmetric nonlinear stress-strain diagram (for the normal stresses and strains) using a geometrically nonlinear interpretation of the problem. According to it several concentric layers should be considered for the plane with a hole and the total layers thickness corresponds to the depth of the material nonlinearity manifestation. In this case stress-strain diagrams of concentric layer materials are determined as secant lines of nonlinear stress-strain diagram of plane material in the assumption of the constancy and equality of Poisson's ratio for all these materials. The solving of auxiliary problem is based on method which is characteristic for the theory of composite materials. According to this method the real stress-strain state belongs to estimated area which bounds are the solutions based on Voigt's and Reuss' hypothesis of the continuity of the strain and stress in the layered thick-walled cylinder, respectively.

Key words: Lamé's problem, Voigt's hypothesis, Reuss' hypothesis, nonlinearly deformable material, composite material.

Х.К. СЕЙФУЛЛАЕВ¹, д.т.н., проф., Г.Х. ДЖЕБРАЙЛОВА², к.т.н., доц. ¹АзНИИСА г.Баку, ²Азербайджанский университет архитектуры и строительства, г.Баку, Азербайджан

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛИТ-ОБОЛОЧЕК ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ С ВЕРХНИМ ПЛОСКИМ ОСНОВАНИЕМ...37

Рассматриваются вопросы расчета плит-оболочек переменной толщины с верхним плоским основанием прямоугольных в плане. Кривизны и кривизны кручения срединной поверхности плит-оболочек выражены через параметры переменной толщины. Использование метода малого параметра исходная система дифференциальных уравнений восьмого порядка сведена к последовательной системе дифференциальных уравнений четвертого порядка. Задача решена в двух приближениях и приводится числовой пример.

Ключевые слова: плита-оболочка, переменная толщина, малый параметр, дифференциальное уравнение.

UDC 624.073. Seyffulaev Kh.K., Jabrailova G.K. **Deformed a condition of intense plates-envelopes of variable thickness with the top flat basis.**

Questions of calculation of plates-envelopes of variable thickness with the top flat basis rectangular in the plan are considered. Curvature and curvature of torsion of a median surface of plates-envelopes are expressed through parameters of variable thickness. The initial system of differential equations of the eighth order is reduced by use of a method of small parameter to serial system of differential equations of the fourth order. The task is solved in two approximations and the numerical example is given.

Key words: plate-envelope, variable thickness, small parameter, differential equation.

Динамические расчёты

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ВОЛН В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ (Часть 2)...42

Для одномерных цилиндрических волн деформаций сжатия, распространяющихся в сплошных средах, механическое поведение которых описывается как геометрически линейными, так и геометрически нелинейными математическими моделями с учетом физической нелинейности, рассматриваются условия, при которых для непрерывных краевых условий возможно образование ударной волны или волны сильного разрыва. Показано, что для модели линейной теории упругости образование цилиндрической ударной волны внутри сплошного массива невозможно, в то время как учет геометрической нелинейности, или использование других физически-нелинейных моделей сплошной среды, приводит к возможности образования ударной волны при непрерывных краевых условиях.

Ключевые слова: одномерная осесимметричная деформация, цилиндрические ударные волны, геометрическая и физическая нелинейность.

UDC 534.11. Bakushev S.V. **About the question of possibility of shaping of cylindrical shock waves in continuous mediums. Part 2.**

For one-dimension cylindrical waves of compression strain, propagating in the continuous mediums, the mechanical behavior of which can be described by the geometrically linear, and also by the geometrically nonlinear mathematical models taking into account physical nonlinearity, discussed the conditions, under which the shaping of shock wave or strong shock wave for the continuous boundary conditions is possible. It is shown, that for the model of the linear elastic theory, the shaping of cylindrical shock wave inside the continuous medium is impossible, while the account of the geometric nonlinearity, or the using of the other physically-non-linear models of a continuous medium, leads to the possibility of shaping of a shock wave under the continuous boundary conditions.

Key words: one-dimension axisymmetric deformation, cylindrical shock waves, geometrical and physical nonlinearity.

Г.Г. БУЛЫЧЕВ, д.физ.мат. наук, проф. (МИРЭА, г.Москва)

ТРЕХМЕРНЫЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ПОЛОГО ЦИЛИНДРА...49

Предложена новая методика построения конечноразностных уравнений для характеристической формы уравнений динамики деформируемых твердых тел. Основная идея этой методики заключается в замене построения расчетных шаблонов на определение волновых потоков через границы ячеек пространственной сетки, на которую разбивается тело. Эта методика используется для построения вычислительных схем, тестируется на задачах с известными (численными) решениями и применяется для решения двух новых задач динамики полого линейноупругого однородного изотропного цилиндра. На основе полученных результатов даны рекомендации по дальнейшему развитию и применению предлагаемой методики.

Ключевые слова: математическое моделирование, метод пространственных характеристик, динамика сооружений и конструкций, алгоритмы.

UDC 5.393. Bulyichev G.G. **Threedimensional problems of dynamics of the hollow cylinder.**

In article the new technique of constructing finite difference equations for the characteristic form of the equations of dynamics of deformable firm bodies is offered. The Basic idea of this technique consists in replacement of templates building process for computation on the definition process of wave streams through borders of cells of a spatial grid into which the body is splitted This technique is used for computing scheme's constructing, is tested on problems with known (numerical) decisions and is applied to the decision of two new problems of dynamics of the hollow linearly-elastic homogeneous isotropic cylinder. The received results are analyzed. Recommendations for further developments and for applications of an offered technique are made.

Key words: Mathematical modelling, a method of spatial characteristics, dynamics of buildings and constructions, algorithms.

Ю.В. КРАСНОЩЕКОВ, д.т.н., проф. Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ, г.Омск)

РАСЧЕТ КАРКАСОВОГО ЗДАНИЯ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ ПРИ АВАРИЙНОМ ОТКАЗЕ КОЛОННЫ...54

Приведены результаты исследования несущей способности железобетонных перекрытий многоэтажного здания при аварийном отказе одной из колонн. Для статического и динамического расчета перекрытия применена расчетная схема гибкой нити. Увеличение растягивающих усилий при мгновенном отказе колонны рекомендуется учитывать введением динамического коэффициента. Разработан и апробирован способ расчета динамического коэффициента с учетом неупругих деформаций арматуры. Приведены примеры расчета здания на прогрессирующее обрушение.

Ключевые слова: аварийная ситуация, отказ колонны, прогрессирующее обрушение, гибкая нить, динамический эффект.

UDC 624.046. Krasnoshekov Yu.V. **Calculation prefab buildings on progressive collapse columns in crash.**

The results of the study the bearing capacity of reinforced concrete floors of multi-storey buildings at the crash of one of the columns. design scheme of flexible filaments used for static and dynamic analysis of the overlap. The increase in tensile forces at the instantaneous failure of the column it is recommended to consider the introduction of the dynamic coefficient. It developed and tested a method for calculating the dynamic coefficient taking into account the inelastic deformation reinforcement. Examples of calculation of the building on the progressive collapse.

Key words: emergency, failure of the column, progressive collapse, flexible string, dynamic effect.

Л.И. КУЗЬМИНА¹, канд.физ.мат.наук, доц., Ю.В. ОСИПОВ², канд.физ.мат.наук, доц.¹НИУ ВШЭ, ²НИУ МГСУ, г.Москва

РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ С ДВУМЯ МЕХАНИЗМАМИ ЗАХВАТА ЧАСТИЦ...59

Рассматривается модель фильтрации суспензии в пористой среде с двумя механизмами захвата частиц. Отдельные частицы задерживаются порами малых размеров, на крупных порах осаждаются группы частиц, образующие устойчивые конструкции в виде сводовых перемычек. Найдено аналитическое решение на фронте концентраций частиц. Для линейного коэффициента фильтрации построено точное и асимптотическое решение и выполнен численный расчет асимптотики на выходе фильтра.

Ключевые слова: фильтрация, суспензия, пористая среда, сводовая перемычка, точное и асимптотическое решения.

UDC 532.546. Kuzmina L.I., Osipov Yu.V. **Calculation of filtration with two particle capture mechanisms.**

Filtration of suspension in a porous medium with two particle capture mechanisms is considered. Individual particles are retained by pores of small size, large pores are clogged by bridging – the groups of particles block the pore inlet forming stable arched bridges. Analytical solution is presented at the particle concentration front. For linear filtration coefficient exact and asymptotic solutions are constructed. Numerical calculation is performed at the filter outlet.

Key words: Filtration, suspension, porous media, arched bridge, exact and asymptotic solutions.

Л.Р. СТАВНИЦЕР, д.т.н., Б.В. БАХОЛДИН, д.т.н., Е.А. СОРОЧАН, д.т.н.

РАСЧЕТ БЕЗОПАСНОСТИ ОСНОВАНИЙ РЕАКТОРНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ...65

Разработан метод расчета локальной устойчивости основания плитного фундамента при расчетном сейсмическом воздействии. Предложен метод прогноза накопления необратимых осадок фундамента за срок эксплуатации сооружения с учетом повторяемости землетрясений.

Ключевые слова: расчет локальной устойчивости, основание плитного фундамента, сейсмическое воздействие, повторяемость землетрясений.

UDC 539.3. Stavnitser L.R., Bakholdin B.V., Sorochan E.A. **Calculation of safety reasons reactor compartment nuclear power plants in earthquake.**

We have developed the method of calculating local stability of slab foundation bases for a specified seismic impact. We offer the method of forecasting accumulation of irreversible foundation settlement during the service life of a building with earthquake frequency taken into account.

Key words: calculation of local stability, the base slab foundation, seismic effects, repeatability of earthquakes.

Расчеты на надежность

В.А. ГРОМАЦКИЙ, к.т.н. ЦНИИСК им.Кучеренко (АО«НИЦ«Строительство»), г.Москва

О ПРИМЕНЕНИИ МНОГОМЕРНОГО НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЯХ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ (Часть I)...69

Изложены некоторые методы моделирования и вычисления функции распределения нормального случайного вектора. На основе чего рассмотрены возможные оценки вероятности отказа последовательной системы – точные и приближенные.

Ключевые слова: многомерное нормальное распределение, преобразование распределения, вероятность отказа, последовательная система.

UDC 624.012.2.046.69.04. Gromatsky V.A. **The application multivariate normal distribution in some models, reliable designs.**

Part I. We set out some methods of modeling and calculating the normal random vector distribution function. On the basis of that assessment, the possible failure probability sequential system — exact and approximate.

Key words: multivariate normal distribution, distribution, conversion, the probability of failure, consistent system.

С.В. ХАРЛАНОВА, к.т.н., В.Л. ХАРЛАНОВ, д.т.н. ВолгГТУ, г. Волгоград

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ...73

В расчетах зданий и сооружений на сейсмические нагрузки, соответствующие уровню максимального расчетного землетрясения (МРЗ), необходимо применять акселерограммы землетрясений. Согласно действующим нормам, интенсивность землетрясения устанавливается максимальной амплитудой акселерограммы. Как показывают многочисленные исследования последствий землетрясений, не существует строгой зависимости между интенсивностью землетрясения и максимальной амплитудой акселерограммы. В статье рассмотрены дополнительные критерии, позволяющие более строго определить интенсивность землетрясения по акселерограмме. Построена регрессионная зависимость связывающая характеристики акселерограммы с интенсивностью землетрясения по шкале МСК-64.

Ключевые слова: интенсивность землетрясения, критерий импульса, характеристики акселерограмм, коэффициенты корреляции, регрессионная модель.

UDC 624.042.8. Harlanova S.V., Harlanov V.L. **Energy criteria of the intensity of the earthquake.**

In calculations of buildings and constructions to seismic loads corresponding to the maximum design earthquake (MDE) must apply accelerograms of earthquakes. Under current rules, the intensity of the earthquake is set maximum amplitude of the accelerograms. As numerous studies of the effects of earthquakes does not exist a strict relationship between the earthquake intensity and the maximum amplitude of the accelerograms. The article considers additional criteria to more strictly define the intensity of the earthquake on accelerogram. Built a regression dependence of the binding characteristics of the accelerograms with the intensity of the earthquake according to MSK-64 scale.

Key words: the intensity of the earthquake, the criterion pulse characteristics of the accelerograms, correlation coefficients, regression model.

А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., проф. Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г.Киев, Украина
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ...2

Комбинированными здесь будем называть конструкции, элементы которых испытывают только растяжение – сжатие или только поперечный изгиб. Ранее была рассмотрена [1] простейшая система [2], состоящая из балки и стержня. Растянутый стержень — рациональный элемент, в нем материал используется полностью, между тем в балке материал эффективно используется лишь в двух или одной точке наиболее напряженного сечения, а остальной материал оказывается недоиспользованным. Если балка и стержень изготовлены из одного и того же материала, то даже при очень длинном стержне оптимальной конструкцией по расходу материала всегда будет стержень без балки. Ниже задача [1, 2] рассмотрена в расширенной постановке – балка и стержень могут быть изготовлены из различных материалов — с разными пределами текучести и разными стоимостями. Цель исследования – отыскание таких параметров задачи (прочностей, стоимостей и длин стержня), при которых оптимальной оказывается конструкция с участием и балки, и стержня. Кроме симметричной задачи [2] для сравнения рассмотрены также и несимметричные задачи.

Ключевые слова: комбинированные системы, пластические конструкции, несущая способность.

UDC 624.04:539.376. **Planning of the combined systems.** Dekhtyar A.S., National Academy of Fine Art and Architecture, Kiev, Ukraine.

The subject of investigation is the combined rigid-plastic systems. Their elements are stretched only or are bent only. The simple symmetric and asymmetrical systems consisting of one bar and one beam are considered. It is necessary to define such a part of load which every element accepts. Such problem specifications are found when both elements in work are included. Examples are presented. The analysis of the projects got of the combined systems is given.

Key words: combined systems, plastic structures, load-bearing capacity.

М.Н. КИРСАНОВ, др.физ.мат. наук, проф., А.Н. МАСЛОВ, инж. (ННУ МЭИ, г. Москва)
ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОГИБА БАЛОЧНОЙ МНОГОРЕШЕТЧАТОЙ ФЕРМЫ...6

Статически определяемая плоская ферма с двойной решеткой равномерно нагружена вертикальными силами по верхнему поясу. Получена точная зависимость прогиба фермы от ее размеров, нагрузки и числа панелей в упругой стадии ее работы. Выведены формулы для наиболее сжатых и растянутых стержней верхнего и нижнего поясов. Усилия в стержнях определялись методом вырезания узлов в аналитической форме с применением системы компьютерной математики Maple. Перемещения вычислены по формуле Максвелла – Мора в предположении, что жесткости всех стержней одинаковы. Для обобщения решения на произвольное число панелей использовался метод индукции.

Замечено, что коэффициенты формулы удовлетворяют однородным рекуррентным уравнениям, решение которых методами компьютерной математики дает искомую общую зависимость в виде полинома. Обнаружено кинематическое вырождение фермы при числе панелей, кратном трем. Приводится пример соответствующей кинематически непротиворечивой схемы распределения виртуальных скоростей узлов. Выводится формула для горизонтального смещения подвижной опоры от действия вертикальной нагрузки. Кривые зависимости прогиба от высоты фермы обнаруживают минимумы, наличие которых позволяет оптимизировать конструкцию по жесткости и весу. Зависимость прогиба от числа панелей при фиксированной нагрузке на ферму и заданной длине пролета имеет скачкообразный характер.

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

UDC 624.04. **The formula for deflection calculation of multiple lattice girder.** Kirsanov M.N., Maslov A.N., Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia.

Statically determinate flat girder with double lattice is uniformly loaded by vertical forces on upper chord. The explicit dependence of the truss deflection from its size, loading and number of panels in elastic stage is obtained. The formulae for the most compressed and stretched bars of upper and lower chords are derived. The stresses in bars were determined by the method of cutting out the nodes in the analytical form using the computer mathematics system Maple. Displacements are calculated by Maxwell–Mohr formula considering that the stiffness of all bars is the same. To generalize the solution for an arbitrary number of panels the induction method was used. It is noticed that the formula coefficients meet homogeneous recurrence equations which solution using computer mathematics methods gives the required general dependence in the polynomial form. The kinematic degeneration of a truss is discovered when the number of panels is in multiples of three. An example of the corresponding kinematically consistent distribution of virtual velocities of nodes is given. The formula for horizontal displacement of a movable support under vertical load action. The curves of dependences of deflection from truss height discover minima, which allow optimization of a structure for stiffness and weight. The dependence of deflection from number of panels under the fixed load on a truss and the given length of a span has the stick-slip nature.

Key words: braced girder, truss, deflection, Maple, induction, number of panels.

[Расчёты на устойчивость](#)

А.Л. КРИШАН, д.т.н., проф., М.М. СУРОВЦОВ, инж., В.Б. ГАВРИЛОВ, к.т.н., доц., А.И. САГАДАТОВ, к.т.н., доц. Магнитогорский государственный технический университет
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА ДЛЯ РАСЧЕТА ТРУБООБЕТОННЫХ КОЛОНН КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ...11

В работе показано, что методики действующих норм РФ по учету гибкости вентцентро сжатых железобетонных элементов дает неплохое соответствие экспериментам лишь для элементов, имеющих гибкость порядка $\lambda = 40 \times 60$. С учетом сложного напряженного состояния бетонного ядра и стальной оболочки и повышенной деформативностью трубобетонных колонн, достоверный расчет их несущей способности по данной методике невозможен. Задача учета гибкости трубобетонных конструкций является достаточно сложной. Исследователями предлагается учитывать их гибкость, используя коэффициент продольного изгиба, занижающий предельное значение продольной силы, которое может воспринять короткий сжатый элемент. В статье рассмотрены различные предложения по определению коэффициента продольного изгиба для учета гибкости при определении несущей способности трубобетонных колонн. Проанализированы методики действующих европейских и китайских норм, а также современные методики, предложенные китайскими учеными. Отмечено существенное расхождение между результатами расчетов по этим методикам с имеющимися опытными данными. Выполненный статистический анализ большого объема данных, принятых по итогам нелинейных деформационных расчетов на ЭВМ, позволил предложить новую формулу для определения коэффициента продольного изгиба. Использование этой формулы позволяет получить лучшую сходимости с опубликованными экспериментальными данными по сравнению с рассмотренными ранее.

Ключевые слова: трубобетонные колонны, несущая способность, гибкость, методика расчета, коэффициент продольного изгиба.

UDC 624.075.23. **Determination of buckling coefficient for calculation of concrete filled steel tube columns of circular cross section.** Krishan A.L., Surovtsov M.M., Gavrilov V.B., Sagadatov A.I.,

Magnitogorsky State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia.

Calculation of bearing capacity of axially compressed concrete-filled steel tube structures with large length should be carried out taking into account their flexibility. With increasing of effective length of compressed elements the limit load with given eccentricity is dependent not only on the strength of used materials, dimensions and cross-sectional shape, but also on the flexibility of structures. The task of accounting for structures flexibility is quite complicated. Researchers offer to take into account the flexibility using the stability factor, which reduces the limit value of the longitudinal forces that can be accepted by a short compressed element. Various proposals for determination of buckling coefficient which takes into account the flexibility at calculation of the bearing capacity of concrete-filled steel tube columns are stated in the article. Calculation procedures of existing European and Chinese standards, as well as modern methods offered by Chinese scientists, are analyzed. Substantial difference between the results of calculations by these methods with the available experimental data is noted. Carried out statistical analysis of large amount of data received on the basis of nonlinear deformation computer calculations allowed to offer a new formula for determining the stability reduction factor. The use of this formula allows getting better convergence with the published experimental data than those previously analyzed.

Key words: concrete-filled steel tube columns, load-carrying capacity, flexibility, calculation procedure, stability factor, buckling coefficient.

Г.М. УЛИТИН д.т.н., проф. С.Н. ЦАРЕНКО к.т.н., доц. Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, Украина
ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ И УСТОЙЧИВОСТЬ ВЕСОМОЙ СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ...18

Статья посвящена проблеме расчета на продольно-поперечный изгиб и устойчивость стержней ступенчато-переменного сечения при наличии сосредоточенных и распределенных продольных нагрузок. Принятые модели стержней широко используются для исследования напряженно-деформированного состояния и устойчивости элементов горного оборудования (бурильные трубы, обсадные колонны и т.п.) и строительных конструкций (башни, мачты, колонны и т.д.). Рассматривается общий подход к построению математической модели продольно-поперечного изгиба весомых колонн со ступенчато-переменным сечением. Математическая модель получена на основе аналитического решения уравнения изгиба в функциях Бесселя и Ломмеля. Принятая модель позволяет рассматривать стержневые системы с любым видом граничных условий. Получены уравнения прогибов, углов поворота, изгибающих моментов и поперечных сил для произвольного участка стержневой системы. Найден соотношения для условий состыковки участков. В качестве примера, рассматривается задача устойчивости консольного стержня с переменным сечением. Расчетная модель построена на основе аппроксимации стержня с непрерывно изменяемой формой – ступенчато переменной. Число участков для разбивки модели определяется исходя из рассмотрения задачи устойчивости частного случая загрузки стержня. Получены относительные величины критических нагрузок. Верификация результатов расчета принятой модели выполнена на основе данных известных аналитических решений.

Ключевые слова: продольно-поперечный изгиб, стержень переменной жесткости, весомая колонна, устойчивость, функции Бесселя, функция Ломмеля.

UDC 539.3:624.04. **Longitudinal-transverse bending and stability of weight rod system.** Ulitin G.M., Tsarenko S.N., Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine.

The article discusses the longitudinal and transverse bending and stability of the step-variable cross section rods under the action of lumped and distributed longitudinal loads. The accepted models of rods are applied for research of stress-strain state and stability of the elements of mining equipment (drill pipes, casings, etc.) and building structures (towers, masts, columns, etc.). The general method of constructing a mathematical model of longitudinal-transverse bending weighty columns with step-variable cross-section is considered in the article. The mathematical model was obtained based on the analytical solution of the equation of bending of Bessel functions and Lommel functions. The accepted model allows considering a system of rods with any kind of boundary conditions. Dependence of deflections, angles of rotation, bending moments and transverse forces for an arbitrary portion of the rods of the system was obtained. The problem of stability of a cantilever beam with a variable cross section was worked out as the example. The number of segments is determined based on the consideration of the special case of loading the rod in the stability problem. The non-dimensional critical loads were obtained. Verification of the results of the calculation model was based on the known analytical solutions.

Key words: longitudinal-transverse bending, variable stiffness rod, weighty column, stability, Bessel functions, Lommel function.

[Динамические расчёты](#)

А.Г. ТЯПИН, д.т.н. (АО «Атомэнергпроект», г.Москва)

МЕТОД НАСТРАИВАЕМОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ПЛОЩАДКИ...24

При возведении ответственных сооружений в ряде случаев не удается обнаружить при изысканиях на площадке достаточно жесткие (скальные или полускальные) грунты на видимых глубинах, соответствующих глубинам скважин. При расчете сейсмической реакции площадки в подобных случаях приходится принимать наличие под пакетом исследованных слоев однородного податливого полупространства. Это создает ряд проблем при моделировании и расчете реакции основания (SRA) – в результате «конволюции» (расчета эквивалентно-линейным методом по программе SHAKE) появляются искусственные резкие границы по скоростям и демпфированию между нижним слоем пакета и подстилающим полупространством. Такая граница появляется в расчетах из-за того, что деградация свойств грунта с ростом деформаций учитывается только в пакете слоев, но не в подстилающем полупространстве.

Следствием образования такой искусственной резкой границы является появление паразитических резонансных частот основания. Кроме того, общая жесткость основания оказывается переопределенной. Автор предлагает методику расчета, которая должна позволить приближенно учесть деградацию свойств грунта не только в пакете слоев, но и в подстилающем

полупространстве. Главное преимущество предлагаемого подхода – преемственность между расчетами реакции площадки в отсутствии сооружений и последующими расчетами динамического взаимодействия сооружений с основанием.

Ключевые слова: расчет реакции основания, эквивалентно-линейный метод, SHAKE, конволюция, деградация свойств грунтов.

UDC 539.3. **Halfspace tuning method for site seismic response analysis.** Tyurin A.G., JSC «Atomenergoproject», Moscow, Russia.

While important structures erecting sometimes one cannot find bedrock at visible depth (corresponding to the boreholes depth) during site survey. In such case one has to put a homogeneous flexible half-space under the package of soil layers. This fact creates a number of problems for modeling and site response analysis (SRA) – as a result of convolution (SHAKE calculations using equivalent linear approach) sharp artificial boundaries appear in terms of wave velocities and internal damping between the bottom layer and underlying half-space. Such boundary appears in calculations because of the strain-dependent degradation of the soil properties, which is taken into account in analysis for soil layers, but not for the half-space. As a consequence of such artificial sharp boundary artificial resonant frequencies of the soil appear. Besides, general stiffness of the soil proves to be overestimated. The author of the article suggests a method enabling to account for the soil properties degradation not only in the package of soil layers but (approximately) in the underlying half-space as well. The main advantage of the proposed approach is the consistency between site response analysis and further soil-structure interaction analysis.

Key words: site response analysis, equivalent linear method, SHAKE, convolution, soil properties degradation.

Расчёты на надежность

В.С. УТКИН, д. т. н., проф., К.А. КАРПУШОВА, инж. Вологодский государственный университет
РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НЕСУЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО КРИТЕРИЮ ПРОЧНОСТИ РАБОЧЕЙ АРМАТУРЫ В СЕЧЕНИИ С НОРМАЛЬНОЙ ТРЕЩИНОЙ...30

По проблеме безопасности несущих элементов зданий и сооружений в последнее время издано несколько законов РФ, стандартов и СП. В работе рассматривается проблема безопасности эксплуатации несущих железобетонных элементов при появлении в них нормальной трещины в растянутой зоне бетона различной ширины раскрытия от различных причин, влияние ее на прочность рабочей арматуры в сечениях элементов с трещиной и на надежность (безопасность) по критерию прочности рабочей арматуры. Приведен способ определения напряжения в рабочей арматуре в сечении с трещиной. Предложен новый метод расчета надежности на примере железобетонной балки с трещиной по критерию прочности рабочей арматуры при ограниченной статистической информации о контролируемых параметрах в расчетной модели. Железобетонная балка в понятиях теории надежности может рассматриваться как механическая система с последовательным соединением условных элементов в виде контролируемых критериев (прочности арматуры, прочности бетона, прогибов, ширины раскрытия трещины и т.д.), ибо при отказе по одному из перечисленных критериев. По Межгосударственному стандарту ГОСТ 27751-2014 под отказом понимается «состояние строительного объекта, при котором не выполняются одно или несколько условий предельных состояний». Одним из важнейших условий является прочность арматуры, чему и посвящено содержание статьи.

Ключевые слова: несущие элементы, железобетонная балка, прочность арматуры, нормальная трещина, ширина раскрытия, надежность(безопасность), метод расчета, стадия эксплуатации.

UDC 624.012.45. **Calculation of reliability of bearing reinforced concrete elements for strength criterion of principal reinforcement in cross section with normal crack.** Utkin V.S., Karpushova K.A., Vologodsky State University, Vologda, Russia.

The number of laws of the Russian Federation, standards and codes of rules has been issued recently on the problem of safety of bearing elements of buildings and constructions. This article is dedicated to the problem of safety of operation of load-bearing reinforced concrete elements while normal crack appearance in stretched zone of concrete of various disclosure widths due to various reasons. The paper discovers its influence on durability of principal reinforcement in cross-section of elements with a crack and its influence on reliability (safety) by criterion of durability of working reinforcement. The method of determination of tension in principal reinforcement in cross-section with a crack is given. The new method of reliability calculation upon an example of reinforced concrete beam with a crack by durability criterion of working reinforcement with limited statistical information on controlled parameters in designed model is offered. The reinforced concrete beam within the theory of reliability can be considered as a mechanical system with series connection of conditional elements in the form of controlled criteria (durability of reinforcement, durability of concrete, deflections, width of disclosure of a crack, etc.). This article is devoted to one of the major criteria – durability of reinforcement.

Key words: bearing elements, reinforced concrete beam, reinforcement durability, normal crack, disclosure width, reliability (safety), calculation method, operation stage.

Нелинейные расчёты

М.Ю.ГОРОХОВ, инж., М.В.ЗАХАРЕНКОВ, инж., М.В.ПАШКОВСКИЙ, инж. АО «Институт«Стройпроект», г.Санкт-Петербург
УЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА В РАСЧЕТЕ ВНЕШНЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ...39

В нормативной литературе представлен вариант способа раскрытия внешней статически неопределимой в сталежелезобетонных конструкциях автодорожных мостов при действии ползучести бетона, основанный на методе сил. При этом грузовые перемещения, матрица канонической системы уравнений и напряжения от действия лишних неизвестных в основной системе вычисляются при различных значениях модуля упругости бетона, которые к тому же зависят от номера итерации метода последовательных приближений. Логическая схема алгоритма метода сил и в особенности выбор основной системы являются достаточно сложными для полной автоматизации расчета на ЭВМ. Предлагается новая схема расчета, совместимая с расчетом методом конечных элементов в форме метода перемещений, являющимся основой современных систем инженерного анализа. При этом обеспечивается тождественность результатов расчетов по новой схеме и по схеме метода сил, закрепленной в нормативной литературе. Приводятся соотношения, необходимые для итерационного решения нелинейной задачи. Предлагаемая схема учета ползучести бетона при расчете сталежелезобетонных пролетных строений мостов и путепроводов освобождает от необходимости выбора основной системы метода сил и открывает путь к полной автоматизации расчета.

Ключевые слова: ползучесть бетона, составные структуры, статическая неопределенность, метод смещения.

UDC 624.04: 624.016. **Consideration of concrete creep in the analysis of externally statically indeterminate composite beams.** Gorokhov M.Yu., Zakharenkov M.V., Pashkovsky M.V., JSC «The Institute Stroyproject», Saint-Peterburg, Russia.

The regulation documents describe a method for redundancy elimination of road bridge composite structures in concrete creep effect calculations, which is based on the force method. In this case, displacements due to external load, system of algebraic equations matrix and stresses due to redundant forces in the primary system are calculated with different values of concrete modulus of elasticity that also depend on the iteration number when using the iterative process. Logical scheme of force method algorithm and, in particular, selection of the primary system are quite difficult for full computer-based automation of engineering calculations. The new analytical model is presented, which is compatible with the finite element analysis in the form of the displacement method as a basic modern engineering analysis system. The results of the analysis performed based on the new analytical model are equivalent to the force method calculation specified in the regulations. Equations are given for an iterative solution of the non-linear problem. The proposed scheme for considering concrete creep in the analysis of bridge and overpass composite decks removes the necessity for the choice of the primary system in the force method and opens the way for full automation of the analytical process.

Key words: concrete creep, composite structures, static indeterminacy, displacement method.

Численные расчёты

Е.И.БРИТВИН, канд.физ.мат.наук (ДПСК, г.Днепр Украина)
УРАВНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА...44

Принято считать, что деформации сдвига мало влияют на напряженное состояние стержней. Заметным это влияние становится только у достаточно коротких стержней. В то же время, как было показано в ряде исследований, для тонкостенных стержней это влияние может быть весьма существенным уже для стержней средней длины. Особенно значимой проблема учета влияния деформации сдвига становится при попытке построить модель узла, образованного сочленением тонкостенных стержней, поскольку для адекватного описания модели требуется максимально точное соответствие аналитической и конечноэлементной моделей стержня. В настоящей работе получены уравнения деформации тонкостенных стержней открытого профиля с учетом деформации сдвига. Даны выражения для деформации и бимоментов с учетом деформации сдвига. Приводятся формулы для вычисления коэффициентов сдвига различных сечений. Продемонстрирован эффект появления деформации в сечениях несимметричного тонкостенного стержня при смещении или повороте его концов без кручения. Аналитические решения проверены путем сравнения с результатами, полученными на конечноэлементных моделях.

Ключевые слова: расчет конструкций, конечный элемент, тонкостенный стержень, деформация, деформация сдвига, бимомент, деформация сдвига.

UDC 624.044. **Equations of thin walled bars deformation of open cross sections with accounting for shear strains.** Britvin E.I., DnieperProjectSteelConstruction Institute, Dnepr, Ukraine.

It is generally assumed that the shear strain has little effect on the stress state of the rods. Noticeable this effect is only in sufficiently short rods. At the same time, as has been shown in a number of studies, this influence can be very significant for thin-walled rods already for rods of medium length. A problem of accounting for the effect of shear deformation becomes especially significant when you try to build a model of the unit formed by the connection of thin-walled rods [1], since an adequate description of the model requires the most exact correspondence of the analytical and finite element models of the rod. In this paper, we derive the deformation equations for thin-walled rods of an open profile with consideration of the shear strain. Expressions for warping and bimoment are given taking into account the shear deformation. Deduce the formulas for calculating of the shear coefficient for various sections. The effect of the appearance of warping in the cross-sections of asymmetric thin-walled rods is shown while the displacement or rotation of its ends without torsion. The conclusions of the theory tested by comparing with the results obtained in the finite element models.

Key words: structural analysis, finite element, thin-walled bar, warping, bimoment, shear strain.

А.В.ИГНАТЬЕВ, к.т.н., доц., В.А.ИГНАТЬЕВ, д.т.н., проф., М.И.БОЧКОВ, инж. (Волгоградский государственный технический университет)
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМЕ КЛАССИЧЕСКОГО СМЕШАННОГО МЕТОДА К РАСЧЕТУ СИСТЕМ С ОДНОСТОРОННИМИ СВЯЗЯМИ...52

В статье излагается алгоритм расчета систем с односторонними связями по методу конечных элементов в форме классического смешанного метода. Так как в систему разрешающих уравнений в этом случае входят как перемещения, так и усилия, то при использовании процедуры пошагового погружения по параметру при анализе конструктивно-нелинейных систем можно менять этот параметр, переходя от «жесткого» нагружения по параметру нагрузки к «мягкому» нагружению по параметру перемещения (конфигурации). Алгоритм расчета один и тот же, как при расчете балок с односторонними жесткими, так и с упругими связями, с зазорами между связями и балкой и без них. Преимуществом алгоритма является полная информация о НДС системы на каждой итерации или шаге нагружения, упрощение программирования итерационного алгоритма расчета, и возможность устранения проблемы заикливания итерационного процесса. Разработанные алгоритмы расчета позволяют отслеживать процесс, включения и выключения («отлипания») односторонних связей как в процессе пошагового догружения балок, так и при изменении вида нагрузки (силовой или кинематической) и последовательности ее приложения. На примере балки с односторонними связями показана эффективность алгоритма.

Ключевые слова: метод конечных элементов в форме классического смешанного метода, системы с односторонними связями.

UDC 624.04: 519.6. **Application of the finite element method in the form of classical mixed method to the calculation of systems with unilateral constraints.** Ignatyev A.V., Ignatyev V.A., Bochkov M.I., Volgogradsky State Technical University, Volgograd, Russia.

In article describes the algorithm of calculation of systems with unilateral constraints by the finite element method in the form of classical mixed method. Since the system of governing equations in this case includes deflections and forces, when you use the step-by-step procedure of loading of the parameter in the analysis of structurally nonlinear systems it is possible to change this setting, moving from «hard» loading on the force parameter to «soft» loading to setting deflections (configuration). The algorithm of calculation is the same for beams with unilateral constraints, elastic bonds, with gaps between the bonds and without them. The advantage of the algorithm is complete information about the systems at each iteration or step of loading, simplification of iterative calculation programming, and the possibility of solving the problems of looping the iterative process. The developed algorithms for calculating process support, enabling and disabling (unstuck) unilateral constraints both in the process of incremental loading of beams, as well as in changing the type (static or kinematic) and various applications. For example, calculated a beam with one-direction connections to show the efficiency of the algorithm.

Key words: Finite Element Method, classical mixed method, constructive nonlinear system.

А.С. КРАВЧУК, д.т.н., доп., И.А. ТАРАСЮК, инж. Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЙ...62

В работе предлагается методика проверки качества вентилирования помещения на этапе проектирования с целью уменьшения неventилируемых областей помещения. Анализ качества вентилирования производится по результатам аэродинамического расчета движения воздуха с учетом точной геометрии помещения, мест крепления воздуховодов и ориентации направляющих входной поток воздуха шторок воздуховодов. Предлагаемая методика представлена в виде методического решения примера краевой стационарной задачи для движения сжимаемого воздуха средствами программы конечно-элементного анализа ANSYS 10 ED. Показано, что все геометрические и физические параметры аэродинамического расчета могут оказывать существенное влияние на качество вентиляции. Установлено, что наличие разнонаправленных шторок на воздуховодах позволяет кардинально улучшить вентиляцию, не увеличивая общее число воздуховодов в помещении.

Ключевые слова: аэродинамический расчет, вентиляция помещения, вихревой поток, стационарный процесс.

UDC 697. **Method for determining the quality of forced ventilation of the premises.** Kravchuk A.S., Tarasyuk I.I., Belorussian State University, Minsk, Belorussia.

The method of checking the quality of premises ventilation at the design phase in order to reduce non-ventilated areas of the room is proposed in this paper. Analysis of ventilation quality is produced by means of the aerodynamic air flow calculation with considering the exact premises geometry, air-ducts attachment places and orientation of the air-duct blinds guiding the input air flow. The proposed method is presented as a methodological solving of example of the boundary problem for an compressible air stationary motion by means of program of the finite element method analysis ANSYS 10 ED. It is shown that all the geometrical and physical parameters of the aerodynamic calculation can have a significant impact on ventilation quality. It is found that the presence of countervailing blinds on air-ducts improves ventilation without increasing the total number of air-ducts in premises.

Key words: aerodynamic calculation, ventilation space, the vortex flow, stationary process.

В.Г.МАЛИНИН, д.т.н.,проф., Ю.Ю.МУССАУИ, инж., Ю.А.БУРДИН, инж. Орловский государственный аграрный университет им.Н.В.Парахина
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ...69

Представлен вариант математической модели материалов с эффектом памяти формы, использующий методы структурно-аналитической мезомеханики, позволяющий выполнить расчет напряженно-деформированного состояния различных конструкций и изделий при активном изотермическом деформировании. Проведены экспериментальные исследования на пропорциональное изотермическое деформирование тонкостенных цилиндрических образцов из эквиатомного никелида титана, подтверждающие качественное и количественное соответствие опытных данных результатам теоретических расчетов в виде диаграммы σ - ϵ . Предложен способ применения плоских ферм с комбинированием элементов из материала с эффектом памяти формы и стали, в перспективе применяемых в качестве предварительно напрягаемой арматуры в монолитных железобетонных конструкциях. Разработана методика применения программного комплекса Ansys Workbench для численного решения задач механики материалов, обладающих эффектом памяти формы, путем адаптации заложенных в эту программу моделей теории течения под разработанный и экспериментально обоснованный вариант математического аппарата материалов с памятью формы. Выполнен расчет напряженно-деформированного состояния плоской фермы, все элементы которой изготовлены из материала с эффектом памяти формы, а также приведены результаты решения в случае частичного применения элементов решетки из подобного материала (пояса фермы изготовлены из материала с памятью формы, решетка – из стали). Обосновано применение подобных ферм с комбинированием материалов решетки для их использования в качестве предварительно напрягаемой арматуры в монолитных железобетонных конструкциях.

Ключевые слова: память формы, математическая модель, эксперимент, численный расчет, предварительное напряжение.

UDC 624.04. **Mathematical modeling and numerical solution of applied problems of structural mechanics for constructions made of shape memory alloy.** Malinin V.G., Mussau Y.Y., Burdin Y.A., Orlovsky State Agricultural University, named after N.V. Parakhin, Orel, Russia.

The article describes a variant of the mathematical model of materials with shape memory effect using the methods of structural and analytical mesomechanics that lets you calculate the stress-strain state of the different designs and products with the active isothermal deformation. The experimental study on proportional isothermal deformation of thin-walled cylindrical samples of equiatomic NiTi confirming compliance with the qualitative and quantitative experimental data is carried out, the results of theoretical calculations of σ - ϵ diagrams are demonstrated. A method of usage of plane truss with a combination of elements made of shape memory alloy and steel that can be used as prestressed reinforcement in monolithic reinforced concrete structures in future is proposed. The method of application Ansys Workbench for the numerical solution of problems of mechanics of materials possessing shape memory effect by adaptation laid down in the program under the current model theory developed and experimentally grounded version of the mathematical apparatus of shape memory materials is designed. The article gives calculations of stress-strain state of the plain truss where all elements are made of shape memory alloy, as well as the results in the case of partial solutions applying elements of the same material (chord is made of a shape memory material, truss web is made of steel). The article proves the application of truss with a combination of materials for truss web to be used as prestressed reinforcement in monolithic reinforced concrete structures.

Key words: shape memory effect, mathematical model, experiment, numerical calculation, prestress.

№ 3 за 2017 год

Расчёты на прочность

Д.Б. ЗОТЬЕВ, др.физ.-мат.наук, проф. Институт архитектуры и строительства ВолГТТУ, г.Волгоград
К РАСЧЕТУ ПРОГИБОВ КОМПОЗИТНЫХ ОПОР ЛЭП...2

Статья посвящена расчету прогибов одностоечных, композитных опор ЛЭП. Эти опоры являются сравнительно гибкими, поэтому прогибы от ветровых и весовых нагрузок могут быть сопоставимыми с размерами конструкции. В таких случаях применимость методов строительной механики и сопромата, разработанных для малых перемещений, нуждается в обосновании экспериментами. В статье предлагается метод расчета прогибов опор ЛЭП, связанный с уравнением упругой линии. Из-за наличия вертикальных сил оно не относится к ОДУ. Для решения этого уравнения предлагается алгоритм, легко реализуемый в MathCad, который может применяться к любым одностоечным опорам, а также для расчета продольно-поперечных изгибов любых консолей с защемленным концом, работающих в упругом режиме. Данный метод позволяет найти точную форму осевой линии при прогибах одного порядка с размерами конструкции. САПР, реализующие метод конечных элементов, а также методика ОАО «ФСК ЕЭС» теоретически не обеспечивают ту же точность при достаточно больших прогибах. В статье описан традиционный для энергетики метод расчета прогибов одностоечных опор, адаптированный для распределенных нагрузок без упрощающих предположений. Показано, что в случае композитной опоры ЛЭП он недостаточно точно учитывает вертикальные нагрузки в деформированном состоянии.

Ключевые слова: композитная опора ЛЭП, ветровая нагрузка, формула Максвелла – Мора, прогиб консоли, уравнение упругой линии.

UDC 69.04. **The calculation of deflections of power transmission line composite supports.** Zotyev D.B., Institute of Architecture and Building of Volgogradsky State Technical University, Volgograd, Russia. The article is devoted to the calculation of deflections of single-column composite supports of electric power transmission. These supports are comparatively flexible therefore the deflections arising from wind and weight loads may be comparable with the dimensions of the structure. In such cases, the applicability of the methods of structural mechanics and strength of materials developed for small displacements needs to be verified by experiments. The article proposes a method for calculating the deflections of electrical supports, which is connected with the elastic line equation. Because of the presence of vertical forces, it does not belong to ODEs. To solve this equation the author of the article proposes an algorithm easily implementable in MathCad that can be applied to any single-column supports as well as calculate the longitudinal-transverse bends of any cantilever beams having rigidly fixed end and operating in an elastic mode. This method allows us to find the exact shape of the centerline for deflections having the order of the dimensions of the structure. CAD systems, implementing the finite element method, as well as the technique of JSC «Federal Grid Company of the Unified Energy System of Russia» do not theoretically provide the same accuracy for sufficiently large deflections. The article describes a method for calculating the deflections of single-column supports, which is traditional for power engineering. It is adapted for distributed loads without any simplifying assumptions. It is shown that in the case of composite electrical supports this method does not take vertical loads into account quite accurately in a deformed state.

Key words: composite electrical supports, wind load, Maxwell – Mohr formula, pylon deflection, elastic line equation.

В.И. ЛИНЬКОВ, д.т.н., проф. (НИУ МГСУ, г. Москва)

К ОЦЕНКЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА НАКЛОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЯХ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕЯ...11

Представлены результаты экспериментального исследования несущей способности и деформативности выполненных в натуральную величину соединений деревянных элементов на наклонных металлических стержнях с распределительными шайбами – разнородностью известных НМС-соединений – соединений деревянных элементов на наклонных стержнях без применения клея. Представлена методика проведения испытаний, определена расчетная несущая способность исследуемого типа НМС-соединения. Проведен статистический анализ прочностных и деформационных характеристик НМС-соединений на распределительных шайбах. Проведена оценка несущей способности НМС-соединений по методике ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко и по ГОСТ 33082-2014 «Конструкции деревянные. Методы определения несущей способности узловых соединений». Выполнена оценка деформативности НМС-соединений, в т.ч. определены деформации соединения на уровне верхней границы области упругой работы, а также же по результатам статистической обработки установлены границы доверительного интервала, которые показывают максимальную и минимальную деформации НМС-соединения на стержнях с распределительными шайбами.

Ключевые слова: соединения деревянных элементов на наклонных металлических стержнях, распределительные шайбы, разрушающая нагрузка, верхняя граница области упругой работы, расчетная несущая способность соединения, деформации соединения, коэффициенты надежности.

UDC 539.3. **Assessment of the deformability of wooden elements joints on inclined metal rods without glue use.** Lin'kov V.I., Moscow State Building University, Moscow, Russia.

The article presents the results of experimental studies of bearing capacity and deformability of medium size joints of wooden elements on inclined metal rods with control washers without the use of glue. The method of testing is shown, the design bearing capacity of the investigated type of joints is determined. The statistical analysis of the strength and deformation characteristics of joints at the distribution washers is conducted. The evaluation of the bearing capacity of such joints was carried out by the methods of TSNIISK named after V.A. Kucherenko and along with Russian State Standard 33082-2014 «Wooden Structures. Methods of determination of bearing capacity of joints». The evaluation of joint deformability is performed, including deformations of connections at the upper region limit of elastic work. The boundaries of the confidence interval are defined upon the results of statistical processing. The boundaries show the maximum and minimum deformations of joints on rods with camshaft washers.

Key words: joints of wooden elements on inclined metal rods, camshaft washer, breaking load, the upper region limit of elastic operation, estimated carrying capacity of joints, joint deformation, safety factors.

Б.В.ЛАБУДИН, д.т.н., проф., В.И.МЕЛЕХОВ, д.т.н., проф., Н.А.ШИЛОВСКАЯ, инж., Е.В.ПОПОВ, инж., П.М.ТРОПИНА, инж., Т.П.ЖУРАВЛЕВА, инж. Северный федеральный университет им.М.В.Ломоносова, г.Архангельск

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАНЕЛЕЙ НА ДЕРЕВЯННОМ КАРКАСЕ С ОБШИВКОЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ...15

Представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния панелей пролетом 3 м на деревянном каркасе с обшивками из OSB и фанеры с различными вариантами соединений с ребрами. Для проведения численного эксперимента использован программный вычислительный комплекс «SCAD OFFICE» для прочностного и деформационного анализа конструкций методом конечных элементов. Установлен характер распределения нормальных сжимающих напряжений в обшивке панели перекрытия, работающей в составе всей конструкции; выявлено влияние типа и шага связей сдвига на распределение напряжений в обшивке и ребрах, а так же прогиб конструкции. Применение комбинированных соединений с когтевыми шайбами «Bulldog» способствует эффективному вовлечению сжатой обшивки в работу панели за счет повышенной сдвигоустойчивости соединений.

Ключевые слова: ребристая панель, комбинированное соединение, дискретные связи, прочность, деформативность, податливость, составность.

UDC 624.078.4; 624.011.2. **Stress-strain state of panels on a wooden frame with a shell of wood-based materials.**

Labudin B.V., Melekhov V.I., Shilovskaya N.A., Popov E.V., Tropina P.M., Zhuravleva T.P., Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk, Russia.

This article presents the results of investigation of the strain-stress state of panels with span of 3 m on the frame with OSB and veneer siding using different variants of compounds with ribs. The software computer complex «SCAD OFFICE» is used for strength and deformation analysis of structures using finite element method in the numerical experiment. The character of the distribution of the normal compressive stress is determined in floor structure siding, which works as part of the whole structure. The influence of the type and pitch of shear bracings on the stress distribution in siding and ribs is exposed, as well as structural deflection. The use of combined connection with «Bulldog» plates promotes an effective involvement of the compressed siding in behavior of structure panels through increased shear-resist of connection.

Key words: ribbed panel, combined connection, discrete connections, strength, deformability, compliance, composition.

Е.Б.КОРЕНЕВА, д.т.н. Военный институт Военного учебно-научного центра Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил РФ», г.Москва

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕДОВОЙ ПЛИТЫ С ОТВЕРСТИЕМ. РЕШЕНИЕ В ФУНКЦИЯХ БЕССЕЛЯ...20

В статье проводится аналитическое моделирование работы ледовой плиты с отверстием, имеющим в плане круговую форму. Эта плита рассматривается как плавающая пластина, лежащая на упругом винклеровском основании с коэффициентом постели, равном объемному весу воды. В области, примыкающей к отверстию, толщина пластины является переменной; она увеличивается по направлению от внутреннего контура отверстия. Для расчета внешней части ледовой плиты, представляющей собой бесконечную плиту постоянной толщины и лежащую на упругом основании с круговым отверстием, используется метод компенсирующих нагрузок. Результат представлен в виде суммы основного и компенсирующего решений. Первое из них удовлетворяет дифференциальному уравнению и имеет необходимые особенности, которые соответствуют действующей нагрузке. Однако, это решение не удовлетворяет граничным условиям. Для того чтобы получить искомый результат, вводится компенсирующее решение. Изучается действие различных нагрузок: сосредоточенной силы, нагрузки, равномерно распределенной по окружности, и других. Изучаются условия сопряжения внешней части ледовой плиты, имеющей постоянное сечение, с внутренней частью, примыкающей к отверстию и имеющей переменную толщину. Внутренняя часть рассматривается как кольцевая пластина радиально-переменной жесткости, лежащая на упругом винклеровском основании. Внешний диаметр этой пластины равен диаметру отверстия плиты постоянного сечения. Работа внутренней части конструкции описывается дифференциальным уравнением четвертого порядка с переменными коэффициентами. Для получения результата используется решение Нильсена. Решения для внутренней и внешней части ледовой плиты с отверстием выражены в замкнутом виде в функциях Бесселя.

Ключевые слова: ледовая плита, отверстие круглой формы, метод компенсирующих нагрузок, функции Бесселя.

UDC 624.078.4; 624.011.2. **Stress-strain state of panels on a wooden frame with a shell of wood-based materials.**

Labudin B.V., Melekhov V.I., Shilovskaya N.A., Popov E.V., Tropina P.M., Zhuravleva T.P., Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk, Russia.

This article presents the results of investigation of the strain-stress state of panels with span of 3 m on the frame with OSB and veneer siding using different variants of compounds with ribs. The software computer complex «SCAD OFFICE» is used for strength and deformation analysis of structures using finite element method in the numerical experiment. The character of the distribution of the normal compressive stress is determined in floor structure siding, which works as part of the whole structure. The influence of the type and pitch of shear bracings on the stress distribution in siding and ribs is exposed, as well as structural deflection. The use of combined connection with «Bulldog» plates promotes an effective involvement of the compressed siding in behavior of structure panels through increased shear-resist of connection.

Key words: ribbed panel, combined connection, discrete connections, strength, deformability, compliance, composition.

А.И.ШЕИН, д.т.н., проф., О.Г.ЗЕМЦОВА, к.т.н., доц. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ОГРАНИЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ...25

Расчет на основе теории предельного равновесия чрезвычайно удобен, но полное пренебрежение деформациями механической системы затрудняет его правомерное проектное применение. Поэтому, в основу расчета железобетонных конструкций предлагается поставить другую теоретическую основу — критерий ограничения деформаций. В статье приведены основные положения метода ограниченных деформаций (МОД). В основу расчета поставлены условия ограничения предельных деформаций в заданных зонах наиболее напряженных сечений композитных конструкций. Получены системы разрешающих алгебраических уравнений для определения параметров сечений при различных диаграммах работы бетона: линейной, нелинейной (кубической) и идеально упругопластической. Уравнения составлены при знакопеременной работе сечения и для неравномерно сжатого сечения. На основе метода выполнены решения задач подбора параметров сечений железобетонных балок и колонн с предварительно ненапрягаемой и напрягаемой арматурой в символьном и численном видах. В работе приведен и численно реализован алгоритм метода по расчету статически неопределимых систем. Подбор параметров сечения производится по одному наиболее напряженно-деформированному сечению каждого элемента конструктивной системы. Метод ограниченных деформаций может стать надежным инструментом проектирования и расчета железобетонных конструкций.

Ключевые слова: метод ограниченных деформаций, железобетон, железобетонные конструкции, параметры поперечного сечения.

UDC 624.012.45. **Calculation of the section parameters of reinforced concrete structures by the method of limited deformations.** Shein A.I., Zemsova O.G., Penzinsky State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

The main provisions of the method of bounded deformations are given in the article. The basis of the calculation is the criterion of limiting deformations in the given zones of the most stressed sections of composite structures. On the basis of the method, the solutions of the problems of selecting the parameters of cross sections of reinforced concrete beams and columns with a non-stressed and stressed reinforcement in symbolic form for linear and nonlinear (cubic) stress-strain relationship are performed. The algorithm of the method for calculating statically indeterminate systems is presented and numerically realized. The method of limited deformations can become a reliable tool for the design and calculation of reinforced concrete structures.

Key words: method of limited deformations, reinforced concrete, reinforced concrete structures, cross-sectional parameters.

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

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ РЕГУЛЯРНОЙ ФЕРМЫ С РАСТЯНУТЫМИ РАСКОСАМИ...31

Рассмотрена схема балочной статически определимой фермы с прямолинейным верхним поясом, крестообразной решеткой, состоящей из раскосов и стоек, соединенных по три в узлах нижних концов стоек (аналог фермы Больмана). Одна из опор фермы подвижная, другая — неподвижный шарнир. Выводится формула для прогиба и горизонтального смещения подвижной опоры в зависимости от размеров фермы, величины нагрузки и числа панелей. Конструкция раскосной решетки фермы такова, что усилия в стержнях по отдельности известными методами найти не удается, и для определения усилий требуется составление системы уравнений равновесия всех узлов фермы. Прогиб от действия равномерно распределенной по узлам верхнего пояса нагрузки определяется по формуле Максвелла — Мора в предположении, что стержни упругие, имеют одинаковую жесткость и работают только на растяжение и сжатие. Решение, полученное в символьной форме в системе компьютерной математики Maple с применением операторов составления и решения однородных рекуррентных уравнений порядка не больше седьмого, обобщается на произвольное число панелей методом индукции. Обнаружены некоторые особенности зависимостей усилий в наиболее сжатых и наиболее растянутых стержнях от числа панелей. Найдены асимптотические характеристики решения.

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

UDC 624.04. **Analytical calculation of the planar regular truss with stretched braces.** Kirsanov M.N., Moscow Power Engineering Institut, Moscow, Russia.

The scheme of beam statically determinate truss with a straight upper zone and cross lattice, consisting of braces and supports that are connected by three nodes in the lower ends of the struts (similar to Bollman's truss). One of the hinges of the truss is movable, the other — fixed hinge. Deduce a formula for the deflection and horizontal displacement of the movable support, depending on the size of the truss, value of load and number of panels. Design of diagonal lattice truss is such that the forces in the rods separately cannot be found by known methods, and to determine the forces it is required to solve a system of equilibrium equations of all the nodes in the truss. The deflection under the action of uniformly distributed over the nodes of the upper belt load is determined by the formula of Maxwell –Mohr on the assumption that the elastic rods have the same stiffness and work only in tension and compression. The solution obtained in symbol form in the system of computer mathematics Maple with the use of the operators of compiling and solving homogeneous recurrence equations of order greater seventh, generalized to an arbitrary number of panels by method of induction. Discovered some features of the dependencies of forces in the most concise and the most stretched members of the number of panels. The asymptotic features of the solution are obtained.

Key words: Bollman, Fink, braced girder, deflection, Maple, induction, the number of panels, asymptotics.

Е.И.БРИТВИН, канд.физ.мат. наук (ДПСК, г. Днепропетровск, Украина)

О КРУЧЕНИИ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ЗАМКНУТОГО ПРОФИЛЯ...36

Работы по проблеме кручения тонкостенных стержней замкнутого профиля берут свое начало от 30–40-х годов прошлого века. Основоположными в этой области считаются работы А.А. Уманского. Математически теория А.А. Уманского очень близка к бессдвиговой теории тонкостенных стержней В.С. Власова, однако позволяет получить более или менее достоверный результат для тонкостенных стержней замкнутого профиля. Тем не менее, как показывают эксперименты, все же предсказания теории А.А. Уманского, подчас бывают очень далеки от действительности. В настоящей работе получены уравнения кручения тонкостенных стержней замкнутого профиля с учетом трех факторов: касательных напряжений свободного кручения, деформации и искажения формы сечения в своей плоскости. Дано аналитическое решение основных уравнений. Произведено сравнение предсказаний теории с теорией А.А. Уманского и с экспериментальными данными. Получено хорошее совпадение с экспериментом.

Ключевые слова: расчет конструкций, тонкостенный стержень замкнутого профиля, деформация, бимомент, деформация сдвига.

UDC: 624.044. **Torsion of the closed thin-walled sections.** Britvin E.I., Institute «DnieperProjectSteelConstruction», Dnepropetrovsk, Ukraine.

The studies on the problem of torsion of thin-walled rods of a closed section take their origin from the 30s–40s of the last century. The fundamental works in this area are ones of A.A. Umansky. Mathematically, the theory of A.A. Umansky is very close to the shiftless theory of V.Z. Vlasov's thin-walled rods, but it allows one to obtain more or less reliable result for thin-walled rods of a closed section. Nevertheless, as experiments show, that the predictions of A.A. Umansky's theory are sometimes very far from reality. In this paper, we obtain the equations of torsion of thin-walled rods of a closed section taking into account three factors: shearing stresses of free torsion, warping and distortion of the section's shape in its plane. The analytical solution of the basic equations is given. A comparison of the theory predictions with A.A. Umansky's theory and with experimental data is made. The good matching with the experiment data was obtained.

Key words: structural analysis, finite element, thin-walled bar of closed section, warping, bimoment, shear strain.

[Расчёты на устойчивость](#)

Ю.И. ДОРОГОВ, канд. техн. наук (г. Волжский)

УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ С ГРУЗОМ ПОСРЕДИНЕ...46

Исследуется устойчивость упругого горизонтального стержня с грузом посередине. Стержень шарнирно закреплен на концах. Груз подпирается снизу жестким упором так, что он не может смещаться вниз, но беспрепятственно перемещается вверх. Сила тяжести, действующая на груз, препятствует потере устойчивости стержня. Рассматриваются только симметричные формы равновесия стержня с односторонней выпуклостью изогнутой оси. Задача решается с использованием дифференциального уравнения изгиба стержня, учитывающего точное выражение для кривизны. Получены параметрические уравнения изогнутой оси стержня, и найдена зависимость критической сжимающей силы, вынуждающей стержень сменить прямолинейную форму равновесия на изогнутую, от массы груза. Для определения критической силы, вынуждающей стержень с грузом сменить прямолинейную форму равновесия на изогнутую форму, не достаточно одного условия равновесия. Необходимо совместное решение уравнения, выражающего условие равновесия стержня, и уравнения энергетического баланса, выражающего условие равенства работы внешней сжимающей силы и полной потенциальной энергии стержня с грузом. Критическая сила, при которой происходит смена прямолинейной формы равновесия на изогнутую форму, зависит от массы груза. С увеличением массы критическая сила увеличивается. Установлено, что изогнутая форма равновесия, которую принимает стержень после потери устойчивости, не является смежной с прямолинейной исходной формой и зависит от массы груза.

Ключевые слова: устойчивость стержня; горизонтальный стержень с грузом.

UDC 539.3. **Stability of the horizontal column with load in the middle.** Dorogov Y. I., Volzhskiy, Russia.

Stability of the elastic horizontal column with load in the middle is investigated. On the ends the column is fixed by means of hinges. The load is propped up from below by a rigid buttress. Therefore it can't be displaced down, but freely moves up. The gravity operating on the load interferes with loss of stability of the column. Symmetric forms of balance of the column with unilateral camber are considered. The problem is solved with use of the differential equation of a bend of the column considering exact expression for curvature. The parametrical equations of a curved axis of the column are received. Dependence of the critical force from the mass of load is found. At determination of the critical force, equality of elastic potential energy and work of external forces is considered. For determination of the critical force, forcing the column to replace with freight a rectilinear form of equilibrium with an arched form, one equilibrium condition is not enough. The collateral solution of the equation expressing the column equilibrium condition, and the equations of the energy balance expressing a condition of equality of work of the external squeezing force and the total potential energy of the column with freight is necessary. The critical force depends on the mass of load. The more mass of load, the more critical force. It is established that the curved form of balance which takes the column after stability loss, isn't adjacent to a rectilinear initial form and depends from the mass of load.

Key words: buckling of the column, horizontal column with load.

[Динамические расчёты](#)

А.Н. ПОТАПОВ, д.т.н., доц. Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ УПРУГОЙ РЕАКЦИИ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМ. Часть 1...53

Приведены результаты по теории временного анализа дискретных диссипативных систем, колебания которых описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Основу теории составляет новый алгебраический подход, состоящий в исследовании характеристического матричного квадратного уравнения.

Применительно к анализу упругих систем изложены основные положения теории: математический аппарат, структура решения характеристического уравнения и свойства матричных соотношений. Аналитическое выражение решения характеристического уравнения имеет вид корневой пары и содержит две матрицы известной структуры. Для данных матриц показана возможность построения итерационного цикла по определению их значений. В наиболее общем виде представлены условия пропорционального демпфирования диссипативной системы, обеспечивающие приведение уравнение движения к нормальным координатам. Показано, что для этого случая решение характеристического уравнения сводится к конечным матричным операциям. Дана схема построения разрешающих уравнений динамической реакции диссипативной системы от действия произвольной динамической нагрузки в матричной форме интеграла Дюамеля. Данный интеграл получен в замкнутой форме, не прибегая к спектральному разложению решения динамической задачи. В структуре подынтегрального выражения динамической реакции системы получена матрица, которая является аналогом матрицы импульсных переходных функций. Особенность этой матрицы заключается в том, что в отличие от матрицы импульсных переходных функций она имеет аналитическую форму записи и в своей симметричной структуре содержит фундаментальную матрицу. Приведены уравнения реакции диссипативной системы с учетом действия статической нагрузки.

Ключевые слова: диссипативная система, динамическая реакция, колебание, перемещение, скорость, уравнение, вектор.

UDC 624.042.8.534.1. **Time analysis of elastic response of dissipative systems. Part 1.** Potapov A.N., South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

The article gives the results on the theory of time analysis of discrete dissipative systems, the oscillations of which are described by ordinary differential equations with constant coefficients. The basis of the theory is a new algebraic approach in the study of the characteristic matrix quadratic equation. In relation to the analysis of elastic systems key provisions of the theory are represented: mathematical apparatus, the structure of the solution of the characteristic equation and properties of matrix correlations. The analytical expression for the solution of the characteristic equation has the form of a root pair and contains two known matrices. Opportunity to determinate values of these matrices by iterativemethod is given. Conditions of proportional damping of the dissipative system, which convert the equation of motion to normal coordinates, are represented in the most general form. It is shown that for this case the solution of the characteristic equation is reduced to finite matrix operations. The scheme of the derivation of dynamic equations for the reaction of dissipative system as a result of an arbitrary dynamic load is given in a matrix form of Duhamel integral. The integral is obtained in a closed form without the spectral decomposition of the solution of the dynamic problem. The matrix is given in the structure of the integrand of system dynamic response, which is similar to a matrix of impulse transition functions. The peculiarity of this matrix is that it has an analytical form and in its symmetrical structure contains a fundamental matrix unlike the matrix of impulse transition functions.

Key words: dissipative systems, dynamic response, oscillation, displacement, velocity, equation, vector.

А.Ю. КОНОВАЛОВ, к.т.н., зав. каф., МА. ПУСТОВАЛОВА, к.т.н., доц. Северный федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЛОСКОЙ 3D МОДЕЛИ ВСЯЧЕГО МОСТА. Часть 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСИЛИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАТЯЖЕНИЯ НЕСУЩЕГО КАБЕЛЯ НА РАБОТУ ВСЯЧЕГО МОСТА...62

Применение комбинированных всячых систем в строительстве мостов снижает затраты на материалы и позволяет перекрывать большие пролеты без устройства промежуточных опор. При этом всячие мосты обладают меньшей жесткостью по сравнению с балочными и арочными. Применительно к всячим мостам наибольший интерес представляет принцип управляемых связей, возможность создания системы автоматического управления напряженно-деформированным состоянием на основе использования связей, определяющих параметры жесткости. Изменение жесткости конструкции оказывает влияние на динамические характеристики. Авторами используется плоская 3D-модель, сформированная в программном комплексе ANSYS. Применение системы ANSYS позволяет визуализировать широкий спектр форм собственных колебаний и выявить влияние конструктивной схемы на поведение модели. Выполнен сравнительный анализ плоских 3D-моделей с различным закреплением несущего кабеля и ориентацией вант и выявлено наиболее эффективное конструктивное решение для дальнейшего исследования применения демпфирующих устройств с целью создания управляемой конструкции. В первой части публикации авторы исследуют влияние предварительного натяжения несущего кабеля на напряженно-деформированное состояние и динамические характеристики плоской 3D модели. Произведена оценка критических скоростей ветрового резонанса и аэродинамической устойчивости конструкции.

Ключевые слова: всячий мост, модальный анализ, усилия, перемещения, ANSYS.

UDC 624.521. **Analysis of operation of flat 3D model of a suspension bridge. Part 1. Influence of the pre-stressing of the main cable on the operation of a suspension bridge.** Kononov A. Yu., Pustovalova M.A., Northern Federal University, Arkhangelsk, Russia.

The use of combined suspension systems in the construction of bridges reduces the cost of materials and allows to cover large spans without the device of intermediate supports. At the same time, the suspension bridges have less rigidity than beam and arched ones. The most interesting is possibility of Intelligent Control of construction rigidity and the intense deformed state. The change in rigidity of structure affects the dynamic properties. The authors use a flat 3D model, formed in the software complex ANSYS. The application of the ANSYS system allows to visualize a wide range of mode of natural oscillations and to reveal the influence of the constructive scheme on the behavior of the model. A comparative analysis has been performed using flat 3D models for different types of the main cable-to-anchorage connections and different orientation of suspension cables, the most effective constructive solution for further investigation of the use of damping devices for the purpose of creating a controlled structure has been revealed. In the first part of the publication, the authors investigate the influence of the pre-stressing of the main cable on the stress-strain state and the dynamic characteristics of a flat 3D model. Critical wind velocities and aerodynamic stability of the structure have been estimated.

Key words: suspension bridge, modal analysis, stress, deformation, ANSYS.

[Основания и фундаменты](#)

А.Б. БАРЫКИН, инж. (Академия строительства и архитектуры. Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь)

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАНИЙ ПЕРЕКРЕСТНО-БАЛОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА СКЛОНАХ...68

Проведен анализ имеющихся на данный момент экспериментальных исследований взаимодействия наклонных оснований и фундаментов зданий. На основе модельных исследований изучены зависимости изменения осадок и коэффициентов жесткости в наклонном основании для системы перекрестно-балочных фундаментов в зависимости от угла наклона основания и относительной длины балки фундамента. В процессе экспериментальных исследований решены задачи по изучению характера распределения осадок, контактных напряжений и коэффициентов жесткости основания под подошвой перекрестно-балочных фундаментов на склонах на основе реализации исследований деформаций грунтового массива и получению зависимостей, позволяющих вычислять параметры для эпюры контактных напряжений с учетом изменения коэффициента жесткости основания при различных углах наклона основания. Предложен метод определения коэффициентов жесткости основания под подошвой фундамента с использованием объемной эпюры изменений относительных коэффициентов жесткости, состоящей из нескольких расчетных плоскостей. Он дает возможность определять расчетные коэффициенты жесткости в любой точке основания под подошвой фундамента с учетом влияния внешней нагрузки и угла наклона основания, а также угла внутреннего трения грунта склона, что необходимо для получения перераспределенной эпюры контактных напряжений.

Ключевые слова: модельные исследования, склон, осадка, коэффициент жесткости, эпюра контактных напряжений, перекрестно-балочные фундаменты.

UDC 624.131.541.3. **The model study of the base deformation of cross-beam foundations on slopes.** Barykin A.B., Academy of Building and Architecture of Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol.

The analysis of the current pilot studies of interaction of the inclined bases and the bases of buildings was carried out. The settlement variation and stiffness ratio in the sloping base for the cross-beam foundation system depending on the sloping angle of the base and the relative length of the foundation beam were examined by means of the model studies. During the experimental studies the problems were solved on studying the nature of the settlement distribution, contact stresses and stiffness ratios under the cross-beam foundation bed on slopes through the studies realization on the soil mass deformation and obtaining the relations. That makes possible the calculation of the parameters for the contact stress diagram (epure) taking into account the variations of the base stiffness ratio under different sloping angles of the footing. The method of determination of stiffness ratio of the basis under a base sole with use of a volume epure of changes of relative stiffness ratio consisting of several settlement planes is offered. It gives the chance to define settlement stiffness ratio in any point of the basis under a base sole taking into account influence of external loading and a tilt angle of the basis and also the angle of internal friction of soil of a slope what is necessary for receiving the redistributed epure of contact tension.

Key words: model study, slope, settlement, stiffness ratio, contact stress diagram (epure), cross-beam foundations.

Расчёты на прочность

**С.В. БОСАКОВ¹, д.т.н., проф., Е.А. СИГАЙ², инж. ¹РУП «Институт БелНИИС», г.Минск, ²БелГУТ, г.Гомель, Беларусь
К РАСЧЕТУ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ...2**

В статье предлагается расчет системы «основание + фундаментная плита + надфундаментное строение» заменить расчетом только плиты на упругом основании, считая жесткость надфундаментного строения бесконечной. Рассмотрены два примера: плоская деформация плиты с тремя участками бесконечной изгибной жесткости, на которую действует вертикальная симметричная нагрузка (практический аналог – ленточный фундамент дома с тремя несущими стенами) и осесимметрично нагруженной круглой плиты с кольцевым участком бесконечной цилиндрической жесткости (практический аналог – дымовая труба). Параллельно для осесимметрично нагруженной круглой плиты переменной цилиндрической жесткости с защемленной в центре нормально решается задача по определению ее прогибов от действия статически приложенной кольцевой нагрузки. Численные расчеты, выполненные способом Б.Н. Жемочкина для этих двух примеров, показывают эффективность такого предположения при определенных соотношениях размеров фундаментной плиты и жестких участков на ней. При учете нелинейной работы материалов системы «основание – фундаментная плита – надфундаментная часть» изложенный в статье подход может значительно уменьшить время расчетов и повысить сходимость и точность получаемых результатов.

Ключевые слова: фундаментная плита, плоская деформация, осесимметричный изгиб, способ Б.Н. Жемочкина.

UDC 624.131. **The calculation of foundation plates at the stage of operation.** Bosakov S.V., Institute BelNIIS, Minsk, Belarus; Sigay E.A., Belorussian State University of Transport, Gomel, Belarus. The article proposes to replace the calculation of the «foundation – foundation slab – suprafundamental structure» system by the calculation of a slab on an elastic foundation considering the rigidity of the suprafundamental structure to be infinite. Two examples are considered: flat deformation of a plate with three sections of infinite bending stiffness, which is affected by a vertical symmetrical load (a practical analogue – the ribbon foundation of a house with three bearing walls), and an axisymmetric loading of a circular plate with an annular section of infinite cylindrical stiffness (practical analogue – a chimney). In parallel, for an axisymmetrically loaded round plate of variable cylindrical stiffness with the normal clamped in the centre, the problem of determining its deflections from the action of a statically applied annular load is solved. The numerical calculations performed by the method of B.N. Zhemochkin for these two examples show the effectiveness of this assumption for certain proportions of the dimensions of the foundation slab and the rigid sections on it. When taking into account the nonlinear work of the materials of the «foundation-foundation slab-suprafundamental part» system, the approach presented in the article can significantly reduce the calculation time and increase the convergence and accuracy of the results obtained.

Key words: foundation plate, plain deformation, axisymmetric bending, method of B.N. Zhemochkin.

**А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., проф. Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г.Киев, Украина
К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЛОТКОВ...7**

Рассмотрена задача проектирования призматических железобетонных лотков для инженерных сетей. Генеральные размеры лотка фиксированы и определяются его назначением, так что предметом проектирования являются толщины полки и ребер. Применен кинематический метод теории предельного равновесия. Рассмотрены четыре возможные формы исчерпания несущей способности конструкции, их выбор зависит от соотношения размеров и ориентации ребер лотка (вверх или вниз ребрами). В замкнутой форме получены оценки толщин полки и стенок лотка. Переход от одной формы разрушения к другой также зависит от соотношения размеров. Рассмотрены примеры и приведены необходимые сравнения.

Ключевые слова: инженерные сети, призматические железобетонные лотки, несущая способность конструкции, профиль, ребра.

UDC 624.04:539.376. **Design of reinforced concrete trays.** Dekhtyar' A.S., National Academy of Fine Arts and Architecture, Kiev, Ukraine.

The problem of design of prismatic reinforced concrete trays for engineering networks is considered. The general sizes of tray are fixed and determined by setting of structure. The designsubject is thicknesses of plate and ribs. The kinematics method of ultimate equilibrium theory is applied. Four possible forms of destruction of structures are described. The choice of destruction form relies on correlation of sizes and orientation of ribs of a tray (up or down). In closed form the resulting estimations of the thickness of plates and walls of a tray are obtained. The examples are considered and the necessary comparisons are done.

Key words: engineering networks, prismatic ferroconcrete trays, structural load-carrying capacity, profile, ribs.

**С.А. ЗЕНИН¹, к.т.н., Р.Ш.ШАРИПОВ¹, к.т.н., О.В.КУДИНОВ¹, инж., В.А.СЕМЕНОВ², д.т.н. ¹НИИЖБ им.А.А.Гвоздева, ²ООО «Техсофт», г.Москва
СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ С ПОСТНАПРЯЖЕННЫМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ БЕЗ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ...11**

В отечественной нормативной базе отсутствуют детальные указания по проектированию железобетонных конструкций с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. Особенно важен данный аспект в части выполнения расчетов с применением различных программных комплексов, реализующих метод конечных элементов. В данной статье рассмотрен метод балансовых сил, широко применяемый в международной практике расчетов постнапряженных железобетонных конструкций, изложены основные предпосылки данного метода, а также предложены основные физические модели схем напряжения и соответствующие им системы сил для различных случаев натяжения арматуры. Также выполнен сравнительный анализ результатов расчетов, выполненных методом конечных элементов с применением метода балансовых сил и встроенных инструментов сертифицированного в нашей стране программного комплекса «Ing+». Предполагается, что основные предпосылки для расчетов постнапряженных железобетонных конструкций, в том числе с применением метода конечных элементов, могут быть использованы для совершенствования отечественной нормативной базы по проектированию железобетонных конструкций.

Ключевые слова: арматура, бетон, предельные состояния, пост-напряженные конструкции, сцепление.

UDC 624.07.012. **Static calculation of elements of structural systems with post stressed beams without adhesion of reinforcement with concrete.**

Zenin S.A., Sharipov R.S., Kudinov O.V., NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia; Semenov V.A., JSC «Techsoft», Moscow, Russia

In Russian regulatory base there are no detailed instructions on design of post-stressed reinforced concrete constructions with unbonded reinforcement. This aspect regarding performance of calculations with application of various program complexes realizing a FE-method is especially important. In this article the method of balance forces which is widely applied in the international practice of calculations of post-stressed construction designs is considered, the main prerequisites of this method are stated, and also the main physical models of tension schemes and systems of forces corresponding to them for various cases are offered. The comparative analysis of results of the calculations executed by FEM with application of a method of balance forces and the built-in tools of the program Ing+ complex certified in Russia is also made. It is supposed that the main prerequisites for calculations of post-intense concrete designs, including with application of FEM, can be used for improvement of the Russian regulatory base on design of reinforced concrete structures.

Key words: ribbed panel, combined connection, discrete connections, strength, deformability, compliance, composition.

**А.С.МАРУТЯН¹, к.т.н., проф., А.Г.АБОВЯН², к.т.н., доц. ¹Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г.Пятигорске, ²МАДИ, г.Москва
РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКООВАЛЬНЫХ ТРУБ ДЛЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ...17**

Приведен расчет оптимальных параметров плоскооовальных труб по приближенной методике, корректность которой подтверждена тестированием с использованием стандартизированных профилей. Представлена новая компоновка решеток из плоскооовальных профильных труб, разработанная для ферменных систем на базе стальных прутковых конструкций покрытий с заменой прутковых гнутых элементов на трубчатые. Проработаны бесфасоночные узловые соединения поясов и решеток с непосредственным примыканием стержневых элементов друг к другу без расцентровок, а также с конструктивными эксцентриситетами, ограниченными 0,25 высоты поясных элементов, что допускает не учитывать их в расчетах и обеспечивает повышение степени унификации узлов верхних и нижних поясов несущих конструкций. Показана перспективность использования нового технического решения в легких металлических конструкциях зданий и сооружений. Очерчена область его рационального применения, где при помощи вариантного проектирования типовых, известных и новых решений дана количественная оценка сокращения расхода конструкционного материала. Приведена вся диаграмма изменений расчетных параметров плоскооовальных труб при трансформации их поперечных сечений от вертикальных конфигураций к горизонтальным, включая переход через очертание круглой формы.

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

UDC 624.072.2. **Calculation of optimal parameters for plain oval pipes for truss structures.** Marutyanyan A.S., North-Caucasian Federal University, Pyatigorsk, Russia; Abovyan A.G., Moscow State Automobile and Road Technical University, Russia.

The article gives the calculation for optimal parameters of plain oval pipes in an approximate method, the correctness of which is confirmed by testing using standard profiles. The new layout of arrays of oval profile pipes designed for truss systems on the base of steel rod cover structures with replacement of bent rod elements for the tubular ones is shown. The article describes the chord joints and netswhere rod elements are abuted directly to each other without misalignments and with structural eccentricities reduced to 0,25 of the height of chord elements. It allows not to consider them in the calculations and ensures a higher degree of unification of nodes of upper and lower chords of supporting structures. The prospects of using these new technical solutions in the lightweight metal structures of buildings and structures are shown. The article explains the area of the rational application, where with the help of variant design of typical, well-known and new solutions there is a possibility for quantitative evaluation to reduce the consumption of structural material.

Key words: Calculation of optimal parameters, profilepipe, rod system, truss, light-weight metal structures.

**В.С. УТКИН, д.т.н., проф. (Вологодский государственный университет)
РАБОТА ВИСЯЧИХ СВАЙ В ГРУНТЕ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВАИ...23**

Предложены новые расчетные схемы работы сваях в грунте основания фундамента. Силы «трения» на поверхности сваи вызываются не перемещениями сваи в грунте, что может соответствовать аварийной ситуации. Силы «трения» на поверхности сваи вызываются микроперемещениями материала сваи (деформациями) в грунте. Коэффициент трения в этом случае найти невозможно и о наличии сил трения можно судить лишь по наличию деформаций материала сваи, не позволяющих количественно характеризовать эти силы. На некоторой высоте (вниз по свае) деформации в свае отсутствуют, отсутствуют и силы трения. Для предельного состояния сваи деформации ее материала и сила трения практически доходят до конца сваи. На этой основе можно определить коэффициент запаса сваи по несущей способности грунта основания, а по фиксированному коэффициенту запаса определить оптимальную длину сваи, что в некоторых случаях позволяет получить экономический эффект.

Ключевые слова: свая, эксплуатационная нагрузка, предельная нагрузка, коэффициент запаса, деформации сваи, сила трения, несущая способность, длина сваи.

UDC 624.154. **Work of trailing piles in soil of a subfoundation and determination of length of a pile.** Utkin V.S., Vologodsky State University, Vologda, Russia.

The new settlement schemes of work of trailing piles in subfoundation soil are offered. Forces of «friction» on a surface of a pile are caused not by movements of a pile in soil that corresponds to an emergency. Forces of «friction» on a surface of a pile are caused by pile material micromovements (deformations) in soil. The friction coefficient in this case can not be found and it is possible to judge about presence of friction forces only by existence of the material deformations of a pile which aren't allowing to characterize quantitatively these forces. At some height (down a pile) there are no deformations in a pile, there are also no friction forces. For a limit condition of a pile the material deformations and friction force practically reach the end of a pile. On this basis it is possible to determine a reserve coefficient of a pile by the bearing capacity of basis soil, and to determine an optimum length of a pile upon the fixed reserve coefficient that in certain cases allows to gain economic effect.

Key words: trailing pile, operational loading, ultimate load, reserve coefficient, deformation of a pile, friction force, load-bearing capacity, pile length.

Нелинейные расчеты

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ, ОПИСЫВАЕМЫХ НЕЛИНЕЙНЫМИ МОДЕЛЯМИ...26

Рассматриваются вопросы оценки коэффициента поперечной деформации в сплошных грунтовых массивах, механическое поведение которых описывается деформационной теорией пластичности сплошной среды Г.А. Гениева в геометрически линейной и геометрически нелинейной постановке. Анализ решения краевой задачи одномерного плоского деформирования сплошной среды без возможности бокового выпучивания не исключает для коэффициента поперечной деформации значений, превышающих предельное значение для упругих сред, равное 0,5. Показано, что величина коэффициента поперечной деформации существенно зависит от механических характеристик материала полупространства.

Ключевые слова: одномерная плоская деформация, геометрическая и физическая нелинейность, коэффициент поперечной деформации.

UDC 539.372. **The theory of the coefficient of transverse deformation in continuous media described by nonlinear models.** Bakushev S.V., Penzensky State University of Architecture and Construction, Penza, Russia.

The article is dedicated to the questions of evaluation of the coefficient of lateral deformation in solid ground massifs, mechanical behavior of which is described with the deformation theory of loose medium plasticity brought by G.A. Geniev in geometrically linear and geometrically nonlinear statements. Analysis of the solution of the boundary value problem for one-dimensional plane deformation of a continuous medium without the possibility of lateral buckling does not exclude the values exceeding the ultimate value for elastic media equal to 0.5 for the coefficient of transverse deformation. It is shown that the value of the coefficient of transverse deformation at the point of a continuous medium essentially depends both on the level of the stress-strain state at this point and also on the mechanical characteristics of the material of the half-space. It is noted that taking into account the geometric nonlinearity leads to an increase in the coefficient of transverse deformation and to an increase in the range of its variation in comparison with the geometrically linear model of a continuous medium.

Key words: one-dimensional flat deformation, geometrical and physical nonlinearity, coefficient of transverse deformation.

Е.А. ЛАРИОНОВ¹, д.т.н., проф., А.Е. ЛАРИОНОВ², инж. ¹МГСУ, ²ОАО «Лайнсфот», г. Москва

К ТЕОРИИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛУЗУЧЕСТИ МАТЕРИАЛОВ...35

Линейные реологические уравнения механического состояния при одноосном нагружении выводятся согласно принципу суперпозиции Больцмана — частичные деформации ползучести определяются лишь величиной и продолжительностью соответствующих приращений рассчитанных на нормальные сечения элемента напряжений. Структурные повреждения материала элемента порождают перераспределения этих напряжений на его способную к силовому сопротивлению часть нормального сечения и их увеличения до так называемых структурных напряжений на этой части. В результате частичные деформации ползучести работоспособной до момента наблюдения части элемента, порождаемые соответствующими приращениями структурного напряжения, являются взаимозависимыми. Именно это обстоятельство позволяет применение модифицированного принципа суперпозиции Больцмана при выводе нелинейных реологических уравнений механического состояния.

Ключевые слова: ползучесть, принцип Больцмана, нелинейность.

UDC 691.328.004.12. **The theory of nonlinear creep of materials.** Larionov E.A., Moscow State Building University, Russia; Larionov A.E., JSC «Linesoft», Moscow, Russia.

Linear rheological equations of mechanical state under uniaxial loading are deduced in accordance with the Boltzmann's principle of superposition — fractional creep strain is determined only by the magnitude and duration of corresponding increments calculated on the normal section of stress element. Structural damages of element's material generate redistributions of these stresses on its normal section part able to force resistance and increase those stresses to the so-called structural stresses on this part. Thus, the partial creep deformations of operational part of the element caused by the corresponding structural stress increments are mutually independent. This fact allows the application of the modified superposition principle of Boltzmann under the derivation of nonlinear rheological equations of mechanical state.

Key words: creep, Boltzmann principle, nonlinearity.

Динамические расчёты

И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. (МГУПС МИИТ, г. Москва)

К АЭРОДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ. Часть 1...39

Рассматривается методика численного решения задач, связанных с изгибно-крутильным флаттером у коробчатых, балочных конструкций (на примере пролетного строения моста) при ее моделировании тонкостенными стержнями открытого и замкнутого профиля, включая конструкции с ответвлениями (крыльями), использующая метод Галеркина для формирования системы разрешающих уравнений.

Ключевые слова: колебания мостов, изгибно-крутильный флаттер, тонкостенные стержни, динамические коэффициенты.

UDC 624.042.41. **Aerodynamic calculation of bridge beam spans. Part I.** Ivanchenko I.I., Moscow State Railway University MIIT, Russia.

The article describes the method of numerical solutions for problems related to flexure-torsion flutter of box, beam structures (for example, a span of a bridge) under their modeling by thin-walled rods of open and closed profile, including designs with branches (wings). The Galerkin's method is used for formation of the system of resolving equations built on the basis of the characteristic determinants. The dynamics of rod (bridge beam with a span of 155 m) with V wind flow's velocity is composed of interconnected flexural transverse, torsional and flexural oscillations. The dynamic ratios are used to describe the self-excited lifting forces and moments under the wind flow's action. The algorithm that implements the method is tested on the example of the known solutions obtained in the theory of Theodorson for the superstructure with ideal streamlined cross-section (in the form of a thin plate). Application of the developed algorithm is extended for a span structure with cross-section characteristics matching the cross section of the first stage of the construction of well-known beam long-span «Dancing» bridge in Volgograd, which experienced a vortex flutter in the first stage of its operation.

Key words: bridge vibration, flexure-torsion flutter, thin rod, dynamic coefficients.

Ю.Т. ЧЕРНОВ, д.т.н., проф., М.Д. ЗЕБИЛИЛА, инж. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

РАСЧЕТ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ, С НЕЛИНЕЙНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ...47

Рассматриваются и анализируются системы виброизоляции, расчетные схемы которых – системы с одной и двумя степенями свободы, в том числе, включающие нелинейные элементы. Приводятся расчетные формулы в замкнутом виде для линейных систем в эксплуатационных режимах (при гармонической и импульсной нагрузках), алгоритмы и примеры расчета линейных и нелинейных систем в эксплуатационных и переходных режимах. Метод расчета и приведенные зависимости записаны, используя передаточные (ПФ) и импульсные переходные функции (ИПФ) линейных динамических систем и зависимости, определяющие связь между этими функциями. При применении этого метода решения записываются в виде разложения по формам собственных колебаний, сразу относительно обобщенных функций. При этом отпадает необходимость в построении собственных форм, переходе к уравнениям в главных координатах и их решению и переходу к обобщенным координатам. Анализируется эффективность 4 вариантов систем виброизоляции грохотов в эксплуатационных и переходных режимах, что является достаточно актуальной задачей для предприятий, где установлены грохоты, в частности, на обогащательных фабриках алмазодобывающей промышленности, на которых в отдельных пролетах возбуждаются высокие уровни вибраций. Значительно снижает нагрузки от оборудования на опорные конструкции в эксплуатационном режиме – установка дополнительного блока (масса m_2), а в режимах пуска-остановки введение дополнительной связи.

Ключевые слова: системы виброизоляции, ограничитель перемещений, нелинейные системы, передаточные функции (ПФ), импульсные переходные функции (ИПФ), интеграл Дюамеля.

UDC 624.042.8:534.014.5. **Calculation of vibration systems of equipment including non linear characteristics.** Chernov Yu.T., Zebilila M.D., Moscow State Building University, Russia.

The research considers and analyses vibration isolation systems, whose design schemes are systems of one and two degrees of freedom including variable nonlinear elements. The calculation formulas are presented in closed form for linear systems in operational modes (under harmonic and impulse loads). The algorithms and examples of calculation of linear and nonlinear systems in operational and transient modes are given. The calculation method and the above dependences are written using the transfer and impulse response functions of linear dynamical systems and dependencies that determine the relationship between these functions. Four options of vibration isolation systems are considered.

Key words: vibration isolation systems, variable stiffness connections, nonlinear systems, transfer functions, impulse response functions.

А.Н. ПОТАПОВ, д.т.н., доц. Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ УПРУГОЙ РЕАКЦИИ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМ. Часть 2...55

Рассмотрены частные случаи приложения интеграла Дюамеля к задачам динамики сооружений. Расчетная схема сооружения моделируется системой с n -степенями свободы, учет демпфирования проводится в рамках линейной теории вязкого сопротивления. Получено решение при динамическом воздействии от внезапно приложенных сил постоянной величины, действующих как длительное время, так и в течение некоторого фиксированного промежутка времени, после которого силы внезапно исчезают. Показано, что определение реакции расчетной модели сооружения при действии вибрационной нагрузки связано с решением непрерывного уравнения Сильвестра. Рассмотрен общий подход к реализации уравнения Сильвестра и показано, что для диссипативной системы это уравнение всегда имеет единственное решение. В случае же вынужденных колебаний системы без учета внутреннего трения существует условие, когда решение становится неопределенным (при резонансе). Уравнение реакции построено в общем виде для случая, когда в различных узлах дискретной системы параметры возбуждения (угловые частоты, начальные фазы, амплитуды) – различны. Для частных случаев вибрационного воздействия, когда параметры нагрузки во всех узлах расчетной модели одинаковы, получена более упрощенная форма записи выражений реакции, вытекающих из общих уравнений. Приведено уравнение реакции при действии периодического импульса для случая прямоугольной и синусоидальной формы. Все построенные решения имеют аналитическую форму записи. Результаты теоретических исследований иллюстрируются примерами колебаний трехэтажного пространственного каркаса здания.

Ключевые слова: диссипативная система, динамическая реакция, перемещение, колебание, вибрационная нагрузка, периодический импульс, уравнение.

UDC 624.042.8:534.1. **Time analysis of elastic response of dissipative systems. Part 2.** Potapov A.N., South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

The results are given about special cases of the use of integral of Duhamel in relation to the problems of structural dynamics. Calculation scheme of the structure is being modelled as a system with N degrees of freedom, damping is taking into account on the linear theory of viscous resistance. It is dealt with the solution of the dynamic effect of suddenly applied forces of constant magnitude, acting both a long time and for a certain period of time after which the power suddenly disappears. It is shown that determination of the calculation model response of the structure under the action of vibration loads is connected with the solution of the continuous Sylvester equations. The general approach to the implementation of this equation is given and it is shown that this equation always has a unique solution for dissipative systems. In the case of forced oscillations of a system without taking into account internal friction, there is a condition when the solution becomes undefined (at resonance). The response equation is constructed in a general form for the case when different nodes of a discrete system have different excitation parameters (the angular frequency, initial phase, amplitude). A more simplified form of the expression reactions arising from the general equations for the special cases of vibration impact is received, when the loads on all nodes in the calculation model are the same. The equation of the response under action of the periodic rectangular and sinusoidal impulses is given. All the constructed solutions are analytical. The theoretical results are illustrated by examples of fluctuations of the 3-storey frame of the building.

Key words: dissipative systems, dynamic response, oscillation, displacement, vibratory load, periodic pulse, equation.

Экспериментальные исследования

А.А.ПОГОРЕЛЬЦЕВ, к.т.н., С.Б.ТУРКОВСКИЙ, к.т.н., И.А.КОНДРАШЕВ, инж. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО«НИЦ«Строительство»)

БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ КУПОЛА ИЗ КЛЕЯНОЙ ДРЕВЕСИНЫ С ЖЁСТКИМИ УЗЛАМИ СИСТЕМЫ ЦНИИСК...63

В лаборатории деревянных конструкций ЦНИИСК с 1974 года проводятся комплексные исследования и разработка жестких стыков деревянных конструкций, в том числе большепролетных куполов. Рассмотрены жесткие укрупнительные стыки и узлы сопряжения меридиональных ребер к верхнему кольцу. Даны результаты испытания фрагмента в натуральную величину жесткого укрупнительного стыка на клеенных стержнях сжато-изгибаемого элемента. Дан алгоритм расчета стыков сжато-изгибаемых клеенных деревянных конструкций – меридиональных ребер куполов, выполненных по системе ЦНИИСК на клеенных стержнях. Рассмотрен расчет сжато-изгибаемых элементов, в укрупнительных стыках которых эпюра моментов однозначна или имеет переменный знак, при этом, стержни клеены наклонно параллельно друг другу и работают на растяжение или клеены под углом друг к другу в виде V-образных анкеров. Приведены примеры строительства в России сооружений с каркасами покрытия в виде большепролетных куполов из клееной древесины с узлами на клеенных стержнях: купол диаметром 90 м аквапарка «Питерленд» в Санкт-Петербурге, купол диаметром в карнизе 95 м и диаметром по опорам 80 м аквапарка в Новосибирске, купол диаметром 45 м цирка в Ереване.

Ключевые слова: ребристый купол, стык сжато-изогнутого элемента, клеенные стержни, испытания, выдергивание, несущая способность.

UDC 692.48: 69.05. **Large span domes made from glued wood with hard joints of TSNIISK system.**

Pogoreltsev A.A., Turkovsky S.B., Kondrashev I.A., TSNIISK named after V.A. Kucherenko of JSC «Research Centre «Construction», Moscow, Russia.

In the Laboratory of Wooden Structures of TSNIISK named after V.A.Kucherenko the complex research and development of rigid joints for wooden structures including large-span domeshave been carried out since 1974. The article examines the rigid enlarging joints and nodes of meridional ribs to the top ring. The testing results of the fragment of the rigid enlarging joint on glued rods of compressed-bent elements in natural size are presented. The article gives the algorithm calculation of joints of compressed-bent-glued wooden structures – the meridionaldome ribs made along with «TSNIISK» system on glued rods. The article covers the calculation of compressed-bent elements with enlarging joints where epure of moments is unambiguous or has a variable sign while the rods are glued inclined parallel to each other and work in tension or they are glued at an angle to each other as V-shaped anchors. The article shows the construction examples in Russia of buildings with a frame cover of largespan domes made of glued wood with nodes glued on rods: the dome with diameter of 90 m of the Aquapark «Piterlend» in Saint-Petersburg, the dome with diameter under the cornice of 95 m and diameter on the supports of 80 m of the Aquapark in Novosibirsk, the dome with diameter of 45 m of the Circus in Yerevan.

Key words: ribbed dome, joint of compressed-bent element, glued rods, testing, pulling, load-bearing capacity.

Численные методы

В.Л.ХАРЛАНОВ, д.т.н., С.В.ХАРЛАНОВА, к.т.н. (ИанС ВолгГТУ, г.Волгоград)

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕТОНА КОНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ...71

Метод конечных элементов и методы решения нелинейных уравнений в сочетании с высокопроизводительной вычислительной техникой дают возможность выполнять анализ объемных и сложных систем с учетом нелинейных деформаций материала. Однако в действующих нормах методики расчета представлены на уровне сечения элемента. Для восполнения этого пробела авторами предложена методика моделирования бетона методом конечных элементов, опирающаяся на действующие нормы и государственные стандарты. Авторами предложено учитывать разрушение элементов в процессе воздействия. В этом случае узловые реакции разрушенных элементов прикладываются как внешняя нагрузка. Выполнено моделирование разрушения бетонного куба в прессе. Проведено сравнение различных теорий прочности для вычисления эквивалентных напряжений. В качестве скелетной диаграммы выбрана диаграмма состояния с явным разделением пластических и упругих деформаций. Построены диаграммы деформирования сечения куба в процессе деформационного нагружения модели. Выявлены области разрушения бетонного куба при достижении предельных деформаций. Определены теории прочности и модели, наиболее полно отражающие действительное напряженно-деформирование бетона в процессе воздействия. Предложенная методика может быть применена для численного анализа железобетонных конструкций методом конечных элементов.

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

UDC 624.012.41:519.3. **Modeling of concrete by finite elements.** Kharlanov V.L., Kharlanova S.V., Volgogradsky State Technical University, Volgograd, Russia.

Finite elements and solution methods of nonlinear equations in combination with high-performance computing technology make it possible to perform analysis of large and complex systems taking into account nonlinear deformation of a material. However, the applicable standard methods of calculation are presented on the cross-section of the element. To fill this gap, the authors propose a method of modeling of concrete finite element, based on existing norms and state standards. The authors propose to take into account the destruction of elements in the treatment process. In this case, the nodal reactions of destroyed elements are applied as external load. A comparison of different theories of strength for the calculation of the equivalent stress is given. The state diagram with explicit separation of plastic and elastic deformations is chosen as a skeletal chart. The diagrams of deformation of the cube cross section in the process of deformation loading of the model are considered. The article identifies the areas of damage of concrete cube while reaching the ultimate strain. The proposed method can be applied for numerical analysis of reinforced concrete structures by finite element method.

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

№ 5 за 2017 год

Расчёты на прочность

Г.А.ГЕНИЕВ, д.т.н., К.П.ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ, д.т.н. АО«НИЦ«Строительство» (ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко), г.Москва, Россия

КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ ЛЬДА ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ...2

Сформулирован критерий прочности льда для сложного (трехосного) напряженного состояния. В системе координат главных нормальных напряжений критерий прочности определяется поверхностью эллипсоида вращения, характерные размеры которого являются функциями температуры льда. Приведены зависимости двух входящих в критерий определяющих величин-пределов прочности на сжатие и растяжение от температуры, а также зависимости от нее модулей деформаций льда. Решена задача о прочности льда при плоском напряженном состоянии. Обоснованы необходимые размеры ледового массива для обеспечения прочности в случае приложения к нему сосредоточенной силы. Разработаны предложения по обоснованию критерия прочности льда. Вопросы прочности льда как строительного материала становятся актуальными в связи с возросшими объемами строительства на Крайнем Севере. В последнее время появилось много публикаций, связанных с различными ледовыми сооружениями и дорогами. Обзор этих работ предлагается представить в следующих публикациях.

Ключевые слова: лед, критерий прочности, сложное напряженное состояние.

UDC 624.01.016. **The criterion of ice strength under complex stress state.** Geniev G.A., Pyatikrestovskiy K.P., JSC «Research Centre «Construction» (TSNIISK named after V.A.

Kucherenko), Moscow, Russia

The strength criterion is formulated for ice under complex (triaxial) stress state. In the coordinate system of the main normal stresses the strength criterion is to be defined by the surface of the rotation ellipsoid, characteristic sizes of which are functions of ice temperature. The dependences of two determining values - ultimate strength on compression and stretching temperature – are given, as well as dependences for the modulus of ice deformations. The problem of ice strength under plane stress state is solved. Proposals for study of ice strength criterion are developed. The questions of ice strength as a construction material have become relevant due to the increased volume of construction in the Far North regions.

Key words: ice, strength criterion, complex stress state.

М.Н.КИРСАНОВ, д.физ.мат.наук, проф., А.С.СТЕПАНОВ, к.т.н., доц. НИУ МЭИ, г.Москва, Россия

О ЗАВИСИМОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ ПЛОСКОЙ АРОЧНОЙ ФЕРМЫ ОТ ЧИСЛА ПАНЕЛЕЙ...9

Приводится вывод формулы для прогиба и смещения подвижной опоры статически определимой фермы, состоящей из ригеля и двух боковых опорных ферменных частей.

Конструкция равномерно нагружена вертикальными силами по узлам верхнего пояса. Алгоритм вывода точных зависимостей деформаций фермы от ее размеров, нагрузки и чисел панелей базируется на методах системы компьютерной математики Maple и двойной индукции, проведенной последовательно для чисел панелей в каждой из частей фермы. Вместе с формулами для смещений находятся и выражения для усилий в наиболее сжатых и растянутых стержнях верхнего и нижнего поясов. В программе, написанной на языке символьной математики, используется метод вырезания узлов, приводящий к решению системы линейных уравнений. Прогиб вычислен по формуле Максвелла – Мора. Предполагается, что жесткости всех стержней одинаковы. Обобщение решений на произвольное число панелей основано на том, что конструкция регулярная и коэффициенты искомой формулы удовлетворяют линейным рекуррентным уравнениям, для решения которых используются операторы компьютерной математики. Искомые общие зависимости деформаций от чисел панелей получаются в виде полиномов по этим числам. Построенные кривые зависимости прогиба от высоты фермы имеют экстремальные точки, позволяющие оптимизировать ферму по весу и жесткости.

Ключевые слова: арочная ферма, прогиб, Maple, двойная индукция, число панелей.

UDC 624.04. On the dependence of the deformation of flat arched truss from the panels number. Kirsanov M.N., Stepanov A.S., Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia.

The formulas for deflection and displacement of the movable support statically determinate truss, consisting of a crossbar and two side support truss parts are deduced. Structure is under uniform load of vertical forces at the nodes of the upper belt. The algorithm output the exact dependencies of the deformations of the truss from its size, load and number of panels is based on the methods of the computer algebra system Maple and double induction, carried out successively for numbers of panels in each part of the truss. Together with the formula for displacement an expression for forces in the most compressed and stretch-ties rods, upper and lower belts are obtained. In the program written in the symbolic language of mathematics the method of cutting nodes, leading to the solution of the system of linear equations is used. Deflection deduced by the formula of Maxwell - Mohr. It is assumed that the stiffness of all rods are the same. Generalization of the solutions for an arbitrary number of panels based on the regularity of construction. The coefficients of the desired formula satisfy linear recurrence equations, for which solutions are obtained by operators of computer mathematics. The required total dependence of deformation and numbers of panels are in the form of polynomials in these numbers. Plotted curves are based on the deflection of the height of the truss and have the extreme point, allowing to optimize the truss in weight and stiffness.

Key words: arch, truss, deflection, Maple, induction, the number of panels.

Р.К.МЕХТИЕВ, канд. физ.мат. наук, доц. Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджан

ПРОДОЛЬНЫЙ СДВИГ ТЕЛ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ ОСЛАБЛЕННОЙ ПРЯМОЛИНЕЙНЫМИ ТРЕЩИНАМИ...15

Рассматривается задача механики разрушения общей регулярной структуры линейно армированной среды образующейся ячейками, содержащей произвольное конечное число волокон различных диаметров. Продольный сдвиг пластины, по краям отверстий и ослабленной двоякопериодической системой прямолинейных сквозных трещин коллинеарных осям абсцисс и ординат равны по длине. Решение задачи о равновесии перфорированного тела при продольном сдвиге с зонами предразрушения сводится к решению одной бесконечной алгебраической системы и нелинейного сингулярного интегродифференциального уравнения с ядром типа ядра Коши. Из решения этих уравнений находят усилия в зонах трещин. Условие появления трещины формулируется с учетом критерия предельного разрыва смещений материала. Каждое сингулярное интегральное уравнение сводится к конечной системе линейных алгебраических уравнений.

Ключевые слова: продольный сдвиг, толщина покрытия, двоякопериодическая решетка, волокна – покрытия, покрытие – связующее, голоморфная функция.

UDC 539.3. **Continuous moving of bodies with a complex structure of a flashing rectangular crack.** Mehtiyev R.K., Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
The problem of fracture mechanics of the general regular structure of a linearly formed reinforced environment by cells containing an arbitrary finite number of fibers of different diameters is considered. The longitudinal shear of the plate, the edges of the holes and the weakened bipolar-periodic system of rectilinear through cracks in the collinear axes of the abscissa and ordinate are equal in length. The solution of the problem of the equilibrium of a perforated body under longitudinal shear with order fracture zones reduces to solving one infinite algebraic system and a nonlinear singular integral differential equation with kernel of Cauchy kernel type. From the solution of these equations, efforts are made in the zones of cracks. The condition for the appearance of a crack is formulated taking into consideration the criterion for the maximum discontinuity in the displacements of the material. Each singular integral equation reduces to a finite system of linear algebraic equations.
Key words: longitudinal shear, coating thickness, doubly periodic lattice, coating fibers, coating-binder, holomorphic function.

**М.О. МОИСЕЕНКО, к.т.н., О.Н. ПОПОВ, к.т.н., Т.А. ТРЕПУТНЕВА, инж. (ТГАСУ, г.Томск)
ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ДВУХПОЛЬНОЙ ГИБКОЙ ПЛАСТИНЫ С НАЧАЛЬНЫМ ПРОГИБОМ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ НАГРЕВЕ...21**

В статье представлено исследование напряженно-деформированного состояния двухполюсной гибкой пластины, имеющей начальный прогиб и находящейся под воздействием неравномерного температурного поля. Материал пластины — сплав ВТ6. Приведен анализ численных исследований, полученных на основе разработанного авторами алгоритма расчета разномодульных прямоугольных элементов конструкций с разрывными параметрами с учетом нелинейностей и свойств материала, зависящих от температурного воздействия. Выполнено сравнение полученных результатов дополнительного, суммарного прогиба и интенсивности напряжений пластины без учета и с учетом начального прогиба. Анализ полученных результатов расчета указывает на необходимость одновременного учета начального прогиба, физической, геометрической нелинейности, неоднородности материала пластины.

Ключевые слова: пластина, ребра жесткости, нелинейность, начальный прогиб.

UDC 7.04:535.4.011.22.23. **Deformation of two fields of a flexible plate with an initial deflection at non-uniform heating.** Moiseenko M.O., Popov O.N., Treputneva T.A., Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia.

On an example of account two-panel supported flexible steel (BT6) of a plate with an initial deflection (НИ) taking place in a non-uniform temperature field are submitted and the carried out (spent) accounts are analysed in view of non-uniform properties of a material dependent on temperature influence in view of dependence of mechanical properties on temperature. Plastic deformations in a plate (from a material BT6) in a considered (examined) range of temperatures up to did not arise. The analysis of the submitted results of accounts шарнирно fixed двухполюсной of a plate with an initial deflection in view of the variable physical characteristics depending on temperature, geometrical nonlinearity, results in the following conclusions. The results received at linear account and only in view of heterogeneity of physical properties depending on a temperature field, show the large error, than with the additional account of geometrical nonlinearity. For a flexible plate with relative thickness at variable temperature influence at НИ reduces additional deflections and pressure (voltage). It also is traced on development of zones of plasticity on a field and thickness of a plate. At accounts of thin-walled elements with explosive parameters on action of external loading it is necessary simultaneously to take into account an initial deflection, physical and geometrical nonlinearity, heterogeneity of a material connected with a variable temperature field. Not the account at account of one of the listed features results in the large error of the received results.

Key words: plate, edges of rigidity, nonlinearity, initial deflection.

Динамические расчеты

**И.Ю. БЕЛУЦКИЙ, д.т.н., проф., А.В. ЛАПИН, инж. Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
АДАПТАЦИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ПЕШЕХОДНОГО ПУТЕПРОВОДА К РЕАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЯ...28**

Вопрос оценки значения собственных частот колебаний пролетных строений пешеходных мостов имеет практическую значимость. Учитывая относительно небольшую массу пролетных строений такие факторы как динамические воздействия, особенности конструкции опорных элементов, пренебрежение которыми является нормой в классической шарнирно-стержневой модели пролетного строения, оказывают существенное влияние на динамические характеристики пролетных строений. Рассмотрен вопрос необходимости учета жесткости и упругости композитных резинометаллических опорных частей, а так же элементов ограждения в оценке характера динамической работы пролетных строений путепровода. На примере рассмотрена адаптация численной модели к реальным условиям работы, путем сопоставления с результатами динамических испытаний пешеходного путепровода на автомобильной трассе М-60 «Усури» Хабаровск – Владивосток участок 747-750 км ПК 156+132. По результатам адаптации численной модели определены факторы, вносящие наибольший вклад в динамические характеристики пролетных строений.

Ключевые слова: пешеходный мост, вертикальные колебания, конечно-элементная модель, крутильная жесткость, динамические испытания, опорная часть.

UDC 624.21. **Adaptation of the finite-element model of the span structure of the pedestrian overpass to the real working conditions of the structure.** Belutsky Y.Yu., Lapin A.V., Pacific National University, Khabarovsk, Russia.

The determination of the value of the natural vibration frequencies of longitudinal girders of pedestrian bridges is of practical importance. Considering the relatively small mass of longitudinal girders, such factors as dynamic effects, structural features of support elements, neglect of which is the norm in the classical hinge-rod model of the span structure, providing a significant influence on the dynamic characteristics of the longitudinal girders. The article considers the need to take into account the rigidity and elasticity of composite rubber-metal support parts, as well as fencing elements in assessing the nature of the dynamic operation of the longitudinal girders of the overpass. For example, the adaptation of the numerical model to the real operating conditions is considered, by comparing it with the results of dynamic tests of the longitudinal girders of the overpass on the highway М-60 «Ussuri» Khabarovsk-Vladivostok section 747–750 km of the PK 156 + 132. Based on the results of the adaptation of the numerical model, the factors that make the greatest contribution to the dynamic characteristics of the longitudinal girders are determined.

Key words: pedestrian bridge, vertical vibrations, finite element model, the torsional stiffness, dynamic test, support part.

**В.Н. СИМБИРКИН, к.т.н., Ю.В. ПАНАСЕНКО, инж. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, ООО «ЕВРОСОФТ», г.Москва
УПРОЩЕННЫЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ...32**

Представлена упрощенная методика выполнения численного физически нелинейного расчета конструкций зданий и сооружений при сейсмических воздействиях. Предложено сочетание двух способов учета нелинейности деформирования конструкций – точного для существенно нелинейных элементов (локальных нелинейностей) и приближенного для остальной части конструкции. Задача сформулирована в виде системы дифференциальных уравнений в исходных и нормальных координатах в форме, удобной для применения численных методов интегрирования по времени. Дано решение проблемы учета достаточного количества форм собственных колебаний в случае применения метода разложения динамической реакции по формам колебаний. Отмечена особенность применения недиагональных матриц масс и демпфирования конструкции. При условии наличия в системе небольшого числа локальных нелинейностей данный подход позволяет обеспечить скорость решения нелинейной динамической задачи, практически равную скорости решения соответствующей линейной задачи. Методика реализована в программном комплексе STARKES и доступна для практического использования при массовом проектировании и исследовании конструкций.

Ключевые слова: нелинейная динамика, метод конечных элементов (МКЭ), сейсмический анализ, разложение по формам колебаний, акселерограмма землетрясения, сейсмоизоляция.
UDC 624.04:519.62. **A simplified nonlinear dynamic analysis of structures under seismic loads.** Simbirkin VN, Panasenko Yu.V., Eurosoft LLC, JSC «Research Centre «Construction» (TSNIISK named after V.A.Kucherenko), Moscow, Russia.

A simplified procedure to perform a numerical physically nonlinear analysis of structures under seismic loads is given. It is suggested to combine two ways of the nonlinear deformation consideration. These are an exact approach for essentially nonlinear elements (local nonlinearities) and an approximate approach for the rest of the structure. The problem is formulated as a system of differential equations in initial and normal coordinates in a form suitable for applying numerical methods of time integration. The solution to the problem of sufficient number of eigenvectors in the case of applying the mode superposition method is given. The feature of using non-diagonal mass and damping matrices is considered. In a case of a few local nonlinearities, the approach enables to provide the speed of solving a nonlinear dynamic problem that is practically equal to the speed of solving the corresponding linear problem. The technique is implemented in the STARKES software package and is available for practical use in structural design and research.

Key words: nonlinear dynamic, seismic analysis, finite element method (FEM), mode superposition, earthquake accelerogram, seismic isolation.

**А.Н. ПОТАПОВ, д.т.н., доц. Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск
ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ДИССИПАТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ВЫКЛЮЧАЮЩИМИСЯ СВЯЗЯМИ...37**

Приведены математические модели колебаний и алгоритм расчета конструктивно нелинейной системы при внезапном выключении связи. В рамках теории временного анализа дан вывод разрешающих уравнений реакции дискретной диссипативной системы, находящейся до выключения связи под действием как статической, так и динамической нагрузки. Проведен анализ реакции системы и установлены некоторые зависимости для ее параметров в момент отказа связи. Для критической временной точки получены кинематические (перемещения, скорости и ускорения) и силовые (восстанавливающие, диссипативные и инерционные силы) параметры реакции в двух состояниях расчетной модели: до и после выключения связи. Для общего случая диссипативной системы, находящейся в момент отказа связи в процессе колебаний, дан вывод аналитических выражений, определяющих величину скачка у параметров динамической реакции. Выполнен анализ для частного случая поврежденной системы, находящейся до разрушения связи в положении статического равновесия. Построена вспомогательная реакция, позволяющая дать оценку дополнительному эффекту, вызванному повреждением системы. Вспомогательная реакция представляет векторную разность (невязку) реакции системы после и до выключения связи. Результаты иллюстрируются на примере колебаний двухпролетной стальной балки при внезапном разрушении промежуточной опоры. Рассмотрены варианты разрушения опоры: при статическом нагружении балки и для балки, находящейся в процессе колебаний.

Ключевые слова: диссипативная система, разрушение, динамическая реакция, перемещение, колебание, восстанавливающая сила, уравнение, матрица жесткости
UDC 624.042.8:534.1. **Time analysis of dissipative structural with switch off connections.** Potapov A.N., South Ural State University, Cheliabinsk, Russia.

The paper is concerned with the mathematical models of oscillations and the calculational algorithm for structurally nonlinear system in case of sudden shutdown of element. Derivation of governing equations of the response of a discrete dissipative system is given within the theory of time analysis. System is under the action of both static and dynamic loads before breaking down of element. The analysis of the response of system and some patterns of its parameters at the time of the element failure are represented. Kinematic (displacement, velocity, and acceleration) and power (restore, dissipative and inertial forces) reaction parameters were obtained for the critical time point in two conditions the calculational model: before and after breaking down of the element. The derivation of analytical expressions that determine the value of the jump of parameters of dynamic response is given for the general case of dissipative system, which is at the moment of an element failure in the process of the fluctuations. The analysis is done for the particular case of a damaged system before the destruction of the element when structure is in a position of static equilibrium. Secondary reaction is given. It allows to evaluate the additional effect, caused by damage of the system. Secondary reaction is a vector of a difference (error) of response of the system after and before breaking down of element. The results are illustrated on the example of oscillations of a two-span steel beams in case of sudden destruction of the intermediate support. The variants of the collapse of the support are given: for beams under static loading and for beams that are oscillating.

Key words: dissipative system, destruction, dynamic response, displacement, oscillation, restoring force, equation, stiffness matrix.

И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. (МГУПС МИИТ, г. Москва)

К АЭРОДИНАМИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ (Часть 2)...48

Рассматривается методика численного (пошагового) решения задач, связанных с динамической неустойчивостью (изгибно-крутильным флаттером) у коробчатых, балочных конструкций (на примере пролетного строения моста) при их моделировании тонкостенными стержнями открытого или замкнутого профиля, включая конструкции с ответвлениями (крыльями). Динамика стержня (мостовой балки с пролетом 155 м) в набегающем со скоростью V ветровом потоке складывается из взаимосвязанных изгибных поперечных, крутильных и изгибных вертикальных колебаний. Для описания самовозбуждающихся подъемных сил и моментов при действии ветрового потока используются динамические коэффициенты. Возбуждение колебаний балки и дальнейшее наблюдение за ее поведением при встречном, поперечном к балке потоке ветра, представляется как цель исследования, достижение которой возможно при численном решении системы дифференциальных уравнений, описывающих указанный процесс. Система указанных уравнений решается с использованием предложенной ранее автором тестированной шаговой, безусловно-устойчивой процедуры для исследования неустановившейся динамики строительных конструкций. Определенные в первой части исследования на основе характеристических определителей критические скорости и частоты для указанного пролетного строения проверяются во второй, настоящей, части исследования иным образом, решением численно системы уравнений. При указанных критических параметрах наблюдается неограниченный рост после начального кратковременного возбуждения колебаний балки, ее перемещений при закритической скорости ветрового потока. Алгоритм, реализующий методику, тестируется на примере известного решения, полученного по теории Теодорсена для пролетного строения с идеально обтекаемым поперечным сечением (в виде тонкой пластины). Проведена серия числовых экспериментов для получения критических скоростей и частот в момент появления динамической неустойчивости в форме изгибно-крутильного флаттера для балок.

Ключевые слова: колебания мостов, изгибно-крутильный флаттер, тонкостенные стержни, шаговые процедуры, динамические коэффициенты.

UDC 624.042.41. **Aerodynamic calculation of beam bridge spans (Part 2).** Ivanchenko I.I., Moscow State University of Railway Engineering, MIIT, Moscow, Russia

The method of numerical stepping solution of dynamic instability problems (flexure-torsion flutter) in box, girder structures (for example, a span of a bridge) under their modeling by thin-walled rods of open or closed profile, including structures with branches-wings. Dynamics of rod (beam bridge with a span of 155 m) with the wind flow of V velocity is composed of interconnected flexural transverse, torsional and flexural vertical oscillations. To describe the self-excited lift forces and moments under the wind flow action the dynamic coefficients are used. The excitation of beam oscillations and further monitoring of its behavior under the opposite, transverse wind flow is the purpose of the study. The analyses could be conducted by using a system of differential equations describing this process. The system of these equations is solved using the stepping sustainable study method tested and proposed by the author for transient dynamics of building structures.

Key words: bridge oscillations, flexure-torsion flutter, thin rods, stepping procedure, dynamic coefficients.

Расчеты на устойчивость

Ю.И. ДОРОГОВ, к.т.н. (г. Волжский)

УСТОЙЧИВОСТЬ ТЯЖЕЛОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ...56

Исследуется устойчивость тяжелого горизонтального стержня, лежащего на жестком основании. Для достаточно длинных стержней большой массы критическая сила Эйлера оказывается ничтожно малой. Такая сила не может привести к потере устойчивости стержня, лежащего на жестком основании, и последующему его поднятию. Это обстоятельство обуславливают необходимость учета веса стержня при определении критической силы. Выведено точное дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня, выражающее зависимость углов наклона касательной от координаты длины. Соответствующая краевая задача для данного уравнения решается вариационным методом Ритца. Установлено, что сумма упругой и гравитационной потенциальных энергий изогнутого стержня превосходит работу силы, способной удержать стержень в изогнутом состоянии. Критическая сила, при которой тяжелый горизонтальный стержень, лежащий на жестком основании, теряет устойчивость, не может быть определена как сила, удерживающая стержень в изогнутом положении. Получено значение критической силы, вынуждающей стержень отклониться от прямолинейного горизонтального положения. Это значение превосходит значение, определяемое формулой Эйлера, и зависит не только от длины стержня и жесткости его поперечного сечения, но и от плотности материала стержня. Отличие критической силы от силы Эйлера тем больше, чем более тонким и длинным является стержень.

Ключевые слова: устойчивость стержня, тяжелый горизонтальный стержень.

UDC 539.3. **Stability of the heavy horizontal column.** Dorogov Y.I., Volzhsky, Russia.

Stability of the heavy horizontal core lying on the rigid basis is investigated. For enough lengthiest columns of big weight the critical strength of Euler is insignificant small. Such force cannot lead to loss of stability of the column, lying on the rigid basis, and the subsequent its raising. Therefore it is necessary to consider weight of the column when determining its critical force. The precise differential equation of an arched column axle is found. This equation expresses dependence of slope angles of a tangent on length coordinate. For this equation the corresponding boundary value problem is set. This boundary value problem is solved by the variation method of Ritz. It is established that the sum of resilient and gravitational potential energies of an arched the column surpasses work of force capable to hold the column in an arched position. The critical force, with which the heavy horizontal column, lying on the rigid basis, loses stability, cannot be determined as force holding the column in arched situation. Value of critical force is received. This force forces the column to deviate rectilinear horizontal position. The found value of force surpasses the value, determined by a formula of Euler. The critical force depends not only on length of the column and a rigidity of its transverse section, but also on column material density. The relation of critical force to strength of Euler increases with increase in length of a column.

Key words: buckling of the column, heavy horizontal column.

Механика грунтов

В.С. УТКИН, д.т.н., проф. Вологодский государственный университет

РАБОТА И РАСЧЕТ ВИСЯЧИХ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ В ГРУНТЕ ОСНОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА УШИРЕНИЯ...63

Рассмотрена работа висячих буроинъекционных свай в грунтах оснований фундаментов. Вместо использования «срыва» (движения) свай для определения сил трения на поверхности свай в работе по СП 24.13330.2011 в статье используются микроперемещения (деформации) материала свай в контакте с грунтом основания. На этом новом подходе принята расчетная схема висячей свай в грунте и выявляется рабочая (полезная) длина свай, воспринимающая нагрузку от фундамента (ростверка). На этой основе оптимизировано место уширения на длине свай и уточнена его роль в повышении несущей способности свай по грунту. Приведены расчетные формулы с учетом уширения свай. Возможен экономический эффект и достигается более ясная работа свай и ее уширений и как следствие, повышается безопасность зданий и сооружений.

Ключевые слова: буроинъекционная висячая свая, уширение свай, пробная свая, микроперемещения, деформации, длина свай, место уширения, повышение безопасности.

UDC 624.154. The work and design of CFA friction piles in soil base and optimization of underream. Utkin V.S., Vologda State University, Vologda, Russia.

The article describes the work of CFA friction piles in soil base. The article uses micromovement (deformation) of the pile material in contact with the ground instead «breakdown» (movement) of piles to determine the friction forces on the pile surface in the SP 24.13330.2011. This new approach adopted a design scheme of friction piles in the ground and revealed the design (useful) length of the pile, which transfer the load from foundation (grillage). On this basis, the location of the under-ream on the length of the pile is optimized and clarified its role in improving the bearing capacity of the pile in the soil. The design formulas are given taking into account the under-ream of the piles. The economic effect is possible. It is achieved more clear work of the pile and its under-ream. As a result, the safety of buildings and structures increases.

Key words: CFA pile, pile under-ream, test pile, micromovement, deformation, pile length, under-ream place, safety increase.

А.Г. ТЯПИН, д.т.н. (АО «Атомэнергопроект», г. Москва)

ВЛИЯНИЕ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБОГО ГРУНТА ПОД ФУНДАМЕНТОМ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ СООРУЖЕНИЯ. Часть III. ВОЗМОЖНОСТИ «СОТОВОЙ» ПОДУШКИ...67

При возведении ответственных сооружений на слабых грунтах приходится применять укрепление грунтов с целью контроля осадок и кренов фундаментов. Но создание укрепленной «грунтовой подушки» под фундаментом, как выясняется, иногда возможно заметно снизить сейсмическую реакцию сооружения. Ранее этот эффект был продемонстрирован автором на конкретном примере из практики. Позже была продемонстрирована ведущая роль кинематического взаимодействия сооружения с основанием в рассматриваемом эффекте. В настоящей статье обсуждается возможность достижения того же эффекта при устройстве сплошной «грунтовой подушки» — например, по «сотовой» схеме. Такое решение позволило бы сэкономить материалы и трудозатраты на укрепление грунта. Вместе с тем, замена сплошной подушки на сотовую подушку может привести к уменьшению сейсмозащитного эффекта. В статье изучается влияние двух факторов. Первый фактор — изменение взаимодействия с окружающим грунтом по подошве подушки при переходе от сплошной подушки к сотовой. Здесь сравниваются результаты при искусственно ужесточенном материале грунтовой подушки, чтобы выделить рассматриваемый эффект. Показано, что разница в результатах невелика и проявляется, в основном, для вертикальной реакции и на сравнительно высоких частотах. Второй фактор — влияние реальной конечной податливости материала грунтовой подушки. Здесь разница в реакции заметно больше, особенно на высоких частотах в терминах передаточных функций к колебаниям жесткого фундамента. В терминах спектров ускорений на фундаменте разница не столь велика благодаря низкочастотному составу сейсмического воздействия.

Ключевые слова: сейсмические воздействия, взаимодействие сооружения с грунтовым основанием, укрепление грунта под фундаментом.

UDC 539.3. Impact of the soil upgrade on the structural seismic response. Part III. Potential of cellular soil pillow. Tyapin A.G., Architecture and Construction Design Bureau, Moscow, Russia.

In cases of weak soils under the base mat one has to upgrade soils in order to control settlements of the foundation. However, it turns out that the upgraded «soil pillow» under the base mat is sometimes capable of decreasing seismic response of a structure. Recently this effect has been demonstrated by the author for a practical case. Later on the author demonstrated crucial role of the kinematical interaction in the considered effect. In this paper the possibility to achieve the same effect with cellular «soil pillow» is discussed. Such a solution can save materials and labor costs. On the other hand, it may lead to the reduction of seismic protection effect of the «soil pillow». Two factors are studied in the paper. The first factor — change in the interaction with surrounding soil over the bottom of the soil pillow. Here the results for the artificially hard pillow material are compared to extract the effect of interest. It is shown that the difference in the results is not significant: it is seen mainly for the vertical response and in the high frequency range. The second factor is the effect of the actual finite flexibility of the pillow material. Here the difference in response is more pronounced; especially for the high frequencies in terms of the transfer functions to the motion of rigid base mat. In terms of the acceleration spectra the difference is not so great due to the low frequency content of seismic excitation.

Key words: seismic excitation, soil-structure interaction, upgrade of soil under the base mat.

Г.А. ГЕНИЕВ, д.т.н., К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ, д.т.н. АО«НИЦ«Строительство» (ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко), г.Москва, Россия ПРОЧНОСТЬ ЛЕДОВЫХ МАССИВОВ ПРИ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ...2

Статья является продолжением теоретического обоснования критерия прочности при сложном напряженном состоянии (начало которого опубликовано в предыдущем номере журнала «Строительная механика и расчет сооружений» № 5, 2017) и содержит пример расчета прочности ледовых массивов. Рассмотрена общая задача теории предельного состояния (пластичности) льда при его плоском деформированном состоянии с числовым примером практического применения. Результаты могут быть использованы при выборе ледокольного судна в северных морях. Работа выполнена в ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко Г.А. Гениевым и является его интеллектуальной собственностью (с участием К.П. Пятикрестовского).

Ключевые слова: прочность, ледовые массивы, плоская деформация.

UDC 624.01.016. **The strength of ice massifs under plane strain.** Geniev G.A., Pyatikrestovskiy K.P. TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC «SIC «Construction»), Moscow, Russia. This article continues the theoretical study of the strength criterion under complex stress state (the beginning of which was published in the previous issue of the journal «Structural mechanics and analysis of constructions» No 5, 2017), and provides an example of strength calculation of ice massifs. The general problem of the theory of limit stress (plasticity) of ice under its plane deformed condition is considered with a numerical example of practical application. The results can be used while selecting of an icebreaking vessel in the Northern seas. The work was done at TSNIISK named after V.A. Kucherenko by G.A. Geniev and it is its intellectual property (featuring by K.P. Pyatikrestovskiy).

Key words: strength, ice massif, plane strain.

А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., проф. Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г. Киев, Украина О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ...7

Рассмотрена задача проектирования призматических железобетонных лотков для инженерных сетей. Особенность задачи состоит в том, что практически основной нагрузкой для таких конструкций есть их собственный вес, проявляющийся при изготовлении, перевозке и установке в проектное положение. Генеральные размеры лотка фиксированы и определяются его назначением, так что предмет проектирования — толщины полки и ребер. Применен кинематический метод теории предельного равновесия. Рассмотрены четыре возможные формы исчерпания несущей способности конструкции, их выбор зависит от соотношения размеров и ориентации ребер лотка (вверх или вниз ребрами). В замкнутой форме получены оценки толщин полки и стенок лотка. Рассмотрены примеры и приведены необходимые сравнения. В частности, исследован переход от одной формы к другой в зависимости от параметров задачи. Обсуждается степень достоверности полученных результатов.

Ключевые слова: прогрессирующее разрушение, призматические железобетонные лотки, инженерные сети.

UDC 624. 04:539.376. **On progressive collapse possibility.** Dekhtyar' A.S. The National Academy of fine arts and architecture, Kiev, Ukraine.

Destruction of buildings or building structures including with the large human victims was first described in «Annals» by Roman historian Tacite. In our time attention of builders to this phenomenon was come into about 50 years to that backwards after the known failure of Ronan Point panel building in London. Investigations of panel building progressive destruction were conducted. Then they were widespread to buildings in the monolithic reinforced concrete. For computations the method of finite elements was mainly used. Meantime for estimation of destruction and load carrying capacity methods of theory of limit equilibrium are specially intended. It is necessary to answer on questions about possibility of destruction, about the volume of the expected blasted area of and about direction of destruction. In this paper the task of building structure elements progressive destruction are considered. The kinematics method of theory of limit equilibrium is applied. The possible forms of destruction are considered. The examples of computations are resulted.

Key words: progressive destruction, limit equilibrium, load carrying capacity.

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства РАЗРЕШАЮЩИЕ УРАВНЕНИЯ ПЛОСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ ЛИНЕЙНО-УПРУГОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ...12

Для плоской деформации сплошных сред, механическое поведение которых описывается линейно-упругими математическими моделями с учетом геометрической нелинейности, рассматривается построение разрешающих уравнений в перемещениях в цилиндрической системе координат. Геометрическая нелинейность учитывается при помощи геометрических соотношений Коши, в которых, в отличие от геометрически линейных сплошных сред, сохраняются квадратичные слагаемые. Разрешающая система уравнений представляет собой систему двух квазилинейных дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных от двух независимых переменных — перемещений точек сплошной среды в радиальном и тангенциальном направлениях. В качестве методов решения расчетных дифференциальных уравнений предлагаются итерационные методы. При этом в качестве начального приближения решения предлагается брать решение рассматриваемой задачи для физически и геометрически линейной сплошной среды.

Ключевые слова: сплошная линейно-упругая среда, геометрическая нелинейность, разрешающие уравнения в перемещениях, цилиндрическая система координат.

UDC 539.37. **Resolving equations of planar deformation in displacements for linear-elastic and geometrically nonlinear continuum at the cylindrical coordinates.** Bakushev S.V. Penza State University of architecture and construction.

For planar deformations of continuum, which mechanical behavior is described by linear-elastic mathematical models, by taking geometrical nonlinearity into account, the development of resolving equations in displacements at the cylindrical coordinates is being analyzed. The geometrical nonlinearity is analyzed with the help of Cauchy geometrical relation, where there are quadratic components in contrast with geometrical linear continuum. The resolving equations system is a system of two quasilinear differential equations of second order at quotient derivatives from two independent variables — the displacement of continuum points at radial and tangential directions. Iteration methods are suggested as the methods of differential primitive equation solutions. In these circumstances it is recommended to take the discussed question solution for physical and geometrical linear continuum as initial solution approximation.

Key words: continuous linear-elastic medium, geometric non-linearity, allow equations in displacement, cylindrical coordinate system.

Г.Т. ТАРАБРИН, д.т.н., проф. (ВолгГТУ, г. Волгоград) ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ В ПЛАСТИНУ...18

Пологая оболочка вращения в форме усеченного конуса с криволинейными образующими трансформируется в круглую кольцевую пластину путем сжатия абсолютно жесткими штампами, перпендикулярными оси оболочки. Рассматриваются четыре вида граничных условий, в которых края оболочки или шарнирно соединены с упругими пластинами или являются свободными. В рамках упругости и геометрической линейности получено точное решение задачи о напряженно-деформированном состоянии индукции в кольцевую пластину оболочки с заданными граничными условиями.

Ключевые слова: упругие пластины и оболочки, криволинейные образующие.

UDC 539.3. **Transforming a sloping rotation shell of positive Gaussian curvature into a plate.** G.T. Tarabrin, Volgograd State Technical University, Russia.

A sloping rotation shell in the form of frustum of a cone with curved generatrices transforms into a circular ring plate by compressing by absolutely rigid stamps which are perpendicular to the axis of the shell. The author of the article analyzes four types of boundary conditions, where the shell edges either are pivotally connected with elastic plates or are free. Within elasticity and geometric linearity the exact solution of the problem on stress-strain state of a shell transformed into an ring plate is obtained with given boundary conditions.

Key words: elastic plates and shells.

М.Н. КИРСАНОВ, д-р.физ.мат. наук, проф., В.Е. ХРОМАТОВ, к.т.н., проф. НИУ МЭИ, г. Москва МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПЛОСКОЙ ФЕРМЫ ТРЕУГОЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ...24

Предлагается схема и аналитический расчет статически определимой стропильной фермы с произвольным числом панелей. В конструкции фермы используются три типоразмера стержневых элементов. Шарниры фермы приняты идеальными, стержни — упругими. Рассматриваются два вида нагружения — равномерное нагружение узлов нижнего прямолинейного пояса вертикальными силами и боковое нагружение одной из сторон фермы горизонтальными силами, имитирующими постоянную по высоте конструкции ветровую нагрузку. В программе, написанной на языке Maple, применяется метод вырезания всех узлов конструкции, приводящий к решению системы линейных уравнений. Прогиб вычислен по формуле Максвелла — Мора. Предполагается, что жесткости всех стержней одинаковы. Методом индукции с привлечением операторов символической математики Maple дан вывод зависимости прогиба от числа панелей. Выясняется, что коэффициенты искомых зависимостей удовлетворяют линейным рекуррентным уравнениям, решения которых дают общие члены последовательностей метода индукции. Получены также формулы зависимостей для усилий наиболее сжатых и растянутых стержней фермы от числа панелей. Построены и проанализированы графики найденных зависимостей. Обнаружены некоторые асимптотические свойства решений в предположении о постоянстве длины пролета и общей нагрузки.

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

UDC 624.04. **Modeling of deformations of flat truss with triangular shape.** Kirsanov M.N., Khromatov V.Y. Moscow Power Engineering Institute, Russia.

A scheme and an analytical calculation of a statically determinate truss with an arbitrary number of panels is proposed. A scheme and an analytical calculation of a statically determinate truss with an arbitrary number of panels is proposed. A scheme and an analytical calculation of a statically determinate truss with an arbitrary number of panels is proposed. A scheme and an analytical calculation of a statically determinate truss with an arbitrary number of panels is proposed. The design of the truss consist of three sizes of core elements. The nodes of the truss taken perfect, the rods are elastic. There are two loading — uniform loading of nodes of the lower straight-line belt by vertical forces and side loading on one side of the truss by horizontal forces simulating a constant wind load. In the program written in the Maple language, method of cutting out all nodes in the construction, leading to the solution of the system of linear equations. The deflection calculated by the formula of Maxwell-Mohr. It is assumed that the stiffness of all rods are the same. The method of induction with the involvement of operators of symbol mathematics Maple the derivation of the dependency of the deflection of the panels is given. It turns out that the coefficients of the desired dependencies satisfy the linear recurrence equations whose solution gives the common members of the sequence of the method of induction. The formulas for efforts in the most concise and tie bars truss on the number of panels are obtained. Plotted and analyzed graphs of the found dependencies. Discovered some asymptotic properties of solutions under the assumption of the constancy of the length of the span and the total load.

Key words: braced girder, truss, deflection, Maple, induction, the number of panels.

А.В. ИГНАТЬЕВ, к.т.н., доц., В.А. ИГНАТЬЕВ, д.т.н., проф. Волгоградский государственный технический университет ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПЛОСКИХ РЕГУЛЯРНЫХ БАЛОЧНЫХ ФЕРМ СО СЛОЖНОЙ РЕШЕТКОЙ...28

Статья посвящена анализу опубликованных М.Н. Кирсановым результатов расчета плоских ферм с решетками различных типов и выводов по ним. Анализ выполнен на основе разработанной авторами модификации метода вырезания узлов. Предложенный алгоритм кинематического анализа ферм не требует численного расчета и легко формализуется. Показана эффективность предложенного алгоритма на примере анализа плоских ферм с небольшим числом пролетов. Дано теоретическое обоснование выявленных М.Н. Кирсановым особенностей поведения под нагрузкой балочных ферм с различными типами сложных решеток. Выполнен подробный анализ выводов о влиянии числа панелей на изменяемость рассмотренных ферм и о том, что «непосредственный расчет фермы с произвольным числом панелей невозможен, как и решение системы линейных уравнений неопределенного порядка, полученных М.Н. Кирсановым по результатам проведенных им исследований. Сформулированы замечания и уточнения по этим выводам.

Ключевые слова: плоские балочные фермы, сложная решетка, особенности напряженно-деформированного состояния.

UDC 624.04:519.6. **Features of the calculation of flat regular beam trusses with a complex grid.** Ignatyev A.V., Ignatyev V.A. Volgograd State Technical University, Russia.

The article is devoted to the analysis of the results of the solution of flat trusses with lattices of various types and conclusions on them, published by M.N. Kirsanov. The analysis is based on the author's method of cutting out the nodes. The theoretical substantiation of the behavior under the load of beam trusses with various types of complex grid, revealed by M.N. Kirsanov, is given. A detailed analysis of the conclusions obtained by M.N. Kirsanov according to the results of his research, is performed. Remarks and clarifications on these conclusions are formulated.

Key words: flat beams truss, complex grid, features of the stress-strain state.

Теория оптимизации

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., проф. Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г.Пятигорске ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВНЫХ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ НОВОЙ МОДИФИКАЦИИ...35

В качестве известных технических решений рассмотрены трубчатые профили составных сечений, скомпонованные из прокатных швеллеров и равнополочных уголков (прототип), а также квадратных труб, развернутых диагонально и усиленных гнутыми швеллерами. Отмечены их преимущества и недостатки при использовании в поясах несущих конструкций.

Предложено новое техническое решение трубчатых профилей составных сечений с применением гнутых С-образных и корытчатых профилей. Показана их рациональность в поясах решетчатых прогонов и ферм беспрогонных покрытий, включая перекрестные фермы типа «Пятигорск». Сравнение на одном и том же базовом объекте предлагаемых и известных решений выявило уменьшение расхода конструкционного материала. При этом отказ от фасонных профилей в пользу сортовой стали снижает стоимостные показатели, что обеспечивает поддержание и увеличение конкурентоспособности несущих конструкций при их модернизации. На каждый вариант базового объекта приходится от четырех до семи рабочих версий нового решения, что расширяет компоновочные и унификационные возможности для несущих конструкций, обеспечивая выбор наиболее оптимальных из них. Серийное изготовление и модернизация приведенных конструкций ограничены холодной обработкой металла, отходы которой отличаются тщательной утилизацией. Такая технология экологически безопасна и обеспечивает высококвалифицированные рабочие места, что весьма актуально для курортного региона Кавказских Минеральных Вод и всего Северо-Кавказского федерального округа.

Ключевые слова: трубчатые профили, составные сечения, решетчатые прогоны, фермы беспрогонных покрытий, перекрестные системы, легкие металлоконструкции.

UDC 624.074:69.024.4. **Optimization of composite hydrochemical profiles new modification.** Marutyun A.S. Branch of the North-Caucasian Federal University in Pyatigorsk, Russia.

As well-known technical solutions, tubular profiles of composite sections, assembled from rolling channels and equal-angle corners (prototype), as well as square tubes, deployed diagonally and reinforced by bent channels, are considered. Their advantages and disadvantages are noted when using bearing structures in belts. A new technical solution is proposed for tubular profiles of composite sections with the use of curved C-shaped and trough profiles. Their rationality is shown in the belts of lattice girders and farmless rafts, including cross farms of the Pyatigorsk type. Comparison of the proposed and known solutions on the same base object revealed a decrease in the consumption of the structural material. At the same time, the rejection of profiled profiles in favor of high-grade steel reduces the cost parameters, which ensures the maintenance and increase in the competitiveness of load-bearing structures during their modernization. For each variant of the base object, there are four to seven working versions of the new solution, which expands the layout and unification capabilities for load-bearing structures, ensuring the selection of the most optimal ones. Serial production and modernization of these structures are limited to cold metal processing, the waste of which is characterized by careful utilization. Such technology is environmentally safe and provides highly qualified jobs, which is very important for the resort region of the Caucasian Mineral Waters and the entire North Caucasus Federal District.

Key words: tubular profiles, composite sections, lattice runways, farms of run-free coatings, cross systems, light metal structures.

Р.П. МОИСЕЕНКО, д.т.н., проф., О.О. КОНДРАТЕНКО, инж. Томский государственный архитектурно-строительный университет ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ РЕБРИСТЫХ ПЛАСТИН С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПЕРВОЙ ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ВИДЕ УРАВНЕНИЯ, ВЫРАЖАЮЩЕГО ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ...42

Разработан алгоритм оптимизации прямоугольных ребристых пластин при заданной первой частоте собственных колебаний. Ограничение записывается в виде закона сохранения энергии с подставленным в уравнение заданным значением первой частоты. Варьируются ширина и высота прямоугольного поперечного сечения ребер. Сформулировано новое свойство оптимальности, на основе которого составлен итерационный алгоритм. Примеры показывают, что экономия материала зависит от количества ребер и степени асимметричности расчетной схемы пластины, т.е. экономия может быть почти нулевой или достигать нескольких десятков процентов.

Ключевые слова: пластина, ребро, частота собственных колебаний, оптимальность.

UDC 624.045. **Optimization of rectangular ribbed plates with the constraint of the first natural frequency in the form of the equation expressing the law of conservation of energy.** Moiseenko R.P., Kondratenko O.O. Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia.

The developed algorithm of optimization of optimization of rectangular ribbed plates at a predetermined first natural frequency. The restriction is recorded in the form of the law of conservation of energy substituted into the equation the given value of the first frequency. Vary the width and height of the rectangular cross section of the ribs. Formulated new property of optimality on the basis of which is composed of the iterative algorithm. The examples show that the savings of material depends on the number of edges and the degree of asymmetry of the design scheme of the plate, the savings can be almost zero to reach several tens of percent.

Key words: plate edge, the natural frequency, optimality.

А.В. ЕРМАКОВА, к.т.н., доц. Южно-Уральский государственный университет, г.Челябинск ИДЕАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО РАСЧЕТА МЕТОДОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ...46

Метод дополнительных конечных элементов (МДКЭ) разрабатывается как вариант метода конечных элементов (МКЭ) для расчета конструкций с несколькими физически нелинейными свойствами. Для решения вопроса об определении критерия конца работы конструкции в условиях статического нагружения, он позволяет использовать теорию предельного равновесия и понятие «идеальная модель разрушения» для описания расчетной схемы рассматриваемой конструкции в предельном состоянии перед потерей несущей способности. В статье рассматриваются вопросы, связанные с введением этого понятия и даны примеры формирования таких моделей.

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

UDC 624.04+624.07. **Ideal failure models of stru ctures for nonlinear analysis by additional finite element method.** Ermakova A.V. South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Additional Finite Element Method (AFEM) is the variant of Finite Element Method (FEM) which intends for analysis of structures with several nonlinear properties. It allows to use of theory of ultimate equilibrium for solving of problem of definition of criterion of operating period under static loading and the term «ideal failure model of structure» for description of structure at limit state before losing of carrying capacity. Paper considers problems of introduction of this term and gives examples of formation of such models.

Key words: additional finite element method, finite element method, method of ultimate equilibrium, ideal failure model, additional design diagram, additional finite element.

Г.Г. БУЛЫЧЕВ, др.физ.мат. наук, проф. (МИРЭА, г.Москва) ТРЕХМЕРНАЯ ДИНАМИКА СПЛОШНЫХ ЦИЛИНДРОВ...53

В статье предлагается новая методика построения вычислительных схем для расчета напряженного состояния однородных изотропных твердых тел с криволинейными границами. Основная идея этой методики заключается в замене исходного криволинейного тела, аппроксимирующим его телом, состоящим из кубиков, и использовании для моделирования динамики метода пространственных характеристик. Эта методика используется для построения новых вычислительных схем, тестируется на задачах с известными (численными) решениями и применяется для решения двух новых задач динамики сплошного линейно-упругого однородного изотропного цилиндра. Полученные результаты анализируются. Даются рекомендации по дальнейшему развитию и применению предлагаемой методики.

Ключевые слова: математическое моделирование, метод пространственных характеристик, динамика сооружений и конструкций, алгоритмы.

UDC 624.04+624.07. **Ideal failure models of stru ctures for nonlinear analysis by additional finite element method.** Ermakova A.V. South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Additional Finite Element Method (AFEM) is the variant of Finite Element Method (FEM) which intends for analysis of structures with several nonlinear properties. It allows to use of theory of ultimate equilibrium for solving of problem of definition of criterion of operating period under static loading and the term «ideal failure model of structure» for description of structure at limit state before losing of carrying capacity. Paper considers problems of introduction of this term and gives examples of formation of such models.

Key words: additional finite element method, finite element method, method of ultimate equilibrium, ideal failure model, additional design diagram, additional finite element.

Динамические расчеты

А.Ю. КОНОВАЛОВ, к.т.н., М.А. ПУСТОВАЛОВА, к.т.н., доц. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова, г.Архангельск АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЛОСКОЙ 3D МОДЕЛИ ВИСЯЧЕГО МОСТА. Ч. 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО КАНАТА НА РАБОТУ ВИСЯЧЕГО МОСТА...59

Рассмотрена работа висячего моста, в программном комплексе ANSYS. Выполнен сравнительный анализ плоских 3D-моделей, оснащенных стабилизирующим канатом под балкой жесткости в центральном пролете. Исследовано влияние предварительного натяжения стабилизирующего каната на напряженно-деформированное состояние и динамические характеристики конструкции. Произведена оценка критических скоростей ветрового резонанса и аэродинамической устойчивости конструкции.

Ключевые слова: висячий мост, стабилизирующий канат, модальный анализ, усилия, перемещения, ANSYS.

UDC 624.521. **Analysis of Operation of flat 3D model of a suspension bridge. Part 2. Influence of the Stabilizing Cable on the Operation of a suspension bridge.** Konovalov A.Yu., Pustovalova M.A. Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia.

The use of combined suspension systems in the construction of bridges reduces the cost of materials and allows to cover large spans without the device of intermediate supports. At the same time, the suspension bridges have less rigidity than beam and arched ones. The most interesting is possibility of Intelligent Control of construction rigidity and the intense deformed state. The change in rigidity of structural affects the dynamic properties. The authors use a flat 3D model, formed in the software complex ANSYS. The application of the ANSYS system allows to visualize a wide range of mode of natural oscillations and to reveal the influence of the constructive scheme on the behavior of the model. A comparative analysis has been performed using flat 3D models for different types of the main cable-to-anchorage connections and different orientation of suspension cables, the most effective constructive solution for further investigation of the use of damping devices for the purpose of creating a controlled structure has been revealed. In the second part of the publication, the authors investigate the influence of the prestressing of the main cable on the stress-strain state and the dynamic characteristics of a flat 3D model. In the second part of the publication, the authors consider the operation of a bridge equipped with a stabilizing cable installed under the stiffening girder in the central span, examining the effect of prestressing of the main cable and stabilizing cable on the stress-strain state and dynamic characteristics using a flat 3D model of the structure. Critical wind velocities and aerodynamic stability of the structure with a stabilizing cable have been estimated.

Key words: suspension bridge, stabilizing cable, modal analysis, stress, deformation, ANSYS.

Н.И. ГОРШКОВ, к.т.н., доц., М.А. КРАСНОВА, инж., Юань ЦЗИНВЭНЬ, инж. Тихоокеанский государственный университет, г.Хабаровск ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ «ТРАНШЕЯ – ОСНОВАНИЕ»...64

Наиболее известной работой, посвященной теоретическому и экспериментальному исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) и устойчивости крутых выемок (траншей), является монография профессора Э.В. Костерина (1973). В этой работе приведены результаты полевых опытов автора, связанные с устойчивостью крутых откосов траншей под трубопроводы. Исследования проводились на пяти объектах, на каждом из них устраивались несколько участков траншей разной глубины в разных грунтовых условиях. Результаты выполненных профессором Э.В. Костериным исследований могут стать основой для продолжения аналитических исследований на базе численных методов, с применением нелинейных моделей грунтов, с учетом технологии устройства траншей (экскавации грунта и приложении нагрузки в месте отвала грунта на поверхности массива) и т.п. Результаты анализа выполненных расчетов можно использовать в дальнейших исследованиях по моделированию устройства систем «траншея – геосреда», включая разработку схем их проектирования. Численное моделирование выполнялось на основе сертифицированной программы GenIDE32, в которой реализованы алгоритмы метода конечных элементов (МКЭ). В расчетах НДС использовалась нелинейная модель грунта на основе ассоциированного закона пластического течения с условием текучести по Кулону – Мору. Целью настоящей статьи является численное исследование напряженно-деформированного состояния и устойчивости систем «траншея – основание» и сравнение с результатами опытов.

Ключевые слова: траншея, грунт, основание, напряженно-деформированное состояние, устойчивость, поверхность скольжения, метод конечного элемента.

UDC 624.131.537, 624.131.524. **System design «trench – base».** Gorshkov N.I., Krasnov M.A., Yuan Tszinven. Pacific State University, Khabarovsk, Russia.

The most famous work dedicated to theoretical and experimental study of stress-strain state and resistance of trenches is the monograph of Professor E.V. Kosterin (1973). In this article the authors present the results of their field experiments related to the stability of steep slopes of trenches for pipelines. The studies were conducted at five sites, where several parts of trenches of different depths in different soil conditions were arranged at each one. The results of the studies by E.V. Kosterin could become the basis for further analytical research based on numerical methods, using a nonlinear soil models taking into account a trench technology (soil excavation and load application in the place of soil dump on the surface of the array), etc. The results of the analysis of the performed calculations can be used for further studies on modeling the systems «trench – geo-environment», including the development of their design schemes. Numerical simulation was performed based on certified program GenIDE32, which implements the algorithms of the finite element method (FEM). In the stress-strain state calculations a nonlinear soil model based on the associated rule of plastic flow with the fluidity condition under Pendant Moru was used. The purpose of this article is a numerical investigation of the stress-strain state and stability of systems «trench – base» and comparison with the results of experiments.

Key words: trench, soil, base, stress-strain state, stability, sliding surface, finite element method.

Численные методы

Р.К. МЕХТИЕВ, канд. физ.-мат. наук, доц., С.А. ДЖАФАРОВА, к.т.н., доц. Азербайджанский технический университет, г.Баку, Азербайджан
МОДЕЛИРОВАНИЕ СДВИГА ИЗОТРОПНОЙ СРЕДЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ СИСТЕМОЙ КРУГОВЫХ ОТВЕРСТИЙ...69

Построена математическая модель трещин в изотропном теле, ослабленном двоякопериодической системой круглых отверстий, при продольном сдвиге. Этой статьей решена задача о продольном сдвиге изотропной упругой среды, ослабленной двоякопериодической системой круглых отверстий и трещин, выходящими на контур отверстий.

Строятся общие представления решений, описывающие класс задач с двоякопериодическим распределением напряжений вне круглых отверстий и прямолинейных трещин. Удовлетворяя граничным условиям на контурах круглых отверстий и берегах трещин, получена бесконечная алгебраическая система и явно сингулярное интегральное уравнение. Затем используя прямые методы, решение интегрального уравнения сведено к конечной алгебраической системе. Численная реализация изложенного способа приведена на IBM. Вычислены коэффициенты интенсивности напряжений в зависимости от геометрических параметров рассматриваемой среды.

Ключевые слова: продольный сдвиг, двоякопериодическая решетка, средние напряжения, прямолинейные трещины, изотропная упругая среда.

UDC 539.375. **Modeling of the shift of isotropic elastic environment, weakened by the double certified system of circular holes and cracks outleting on the hole of holes.** Mehtiyev R.K., Dzhaferova S.A. Azerbaijan Technical University, Azerbaijan.

A mathematical model of cracks in an isotropic body is constructed, weakened by a doubly periodic system of circular holes and cracks emerging on the contour of the holes. This article solves the problem of the longitudinal displacement of an isotropic elastic medium, weakened by a doubly periodic system of circular holes and cracks emerging on the contour of the holes. General representations of solutions that describe a class of problems with a doubly periodic distribution of stresses outside circular holes and rectilinear cracks are constructed. Satisfying the boundary conditions on the contours of the circular holes and the shores of the cracks, an infinite algebraic system and an explicitly singular integral equation are obtained. Then using direct methods, the solution of the integral equation is reduced to a finite algebraic system. The numerical implementation of this method is given in IBM. The stress intensity factors are calculated as a function of the geometric parameters of the medium under consideration.

Key words: longitudinal shift, doubly periodic lattice, average stresses, rectilinear cracks, isotropic elastic medium.

Журнал «Строительная механика и расчет сооружений» 2018 год



№ 1 за 2018 год

Расчёты на прочность

Г.А. ГЕНИЕВ, д.т.н., К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ, д.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва
О ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЯХ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УРАВНЕНИЯХ ДЛЯ ЛЬДА...2

Приведен пример использования разработанного Г.А. Гениевым критерия прочности льда для сложного напряженного состояния. Приведены зависимости двух входящих в критерий определяющих величин — пределов прочности на сжатие и растяжение от температуры, а также зависимости от нее модулей деформаций льда. Разработаны физические зависимости между напряжениями и деформациями льда в его допредельном состоянии с использованием модели упруго-вязкого тела, в которой учет вязких свойств обусловлен явлениями ползучести.

Ключевые слова: лед, критерий прочности, сложное напряженное состояние, пример расчета ледовой плотины.

UDC 624.01.016. **The deformation dependencies and the constitutive equations for ice.** Geniev G.A., Pyatikrestovskiy K.P., JSC «SIC «Construction» – TSNIISK named after V.A. Kucherenko Moscow, Russia.

The article shows an example of using the ice strength criterion for the complex stress state developed by G.A. Geniev. The dependencies between two constituent values of criterion for determining the ultimate strength on compression and stretching temperature are given. Also the article considers the dependencies between temperatures and the deformation modules of ice. The authors developed the physical dependencies between stress and deformation of ice at his pre-ultimate condition using the model of elastic-viscous body, where the given elastic properties are caused by phenomena of creep.

Key words: ice, strength criterion, complex stress state, calculation example for ice dam.

Г.А. ГЕНИЕВ, д.т.н., К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ, д.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва
ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ЗАДАЧА О ПРЕДЕЛЬНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ ЛЕДОВОГО МАССИВА С ВНУТРЕННЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТЬЮ...8

Приведено решение важной для практики задачи о напряженном состоянии цилиндрического ледового массива с внутренней полостью, при действии в ней избыточного радиального давления. Поперечное сечение массива ортогонально вертикальной оси Z. Массив делится концентрическими кругами, которые обозначают внешнюю границу области предельного состояния льда, величина которого заранее неизвестна и зависит от значения действующего на ней радиального давления. В направлении оси Z выполняются условия плоской деформации $\epsilon_z = 0$. Составляется дифференциальное уравнение и решается с помощью замены переменных для двух значений внутреннего давления в полости при температуре -20 оС и выполняется качественный анализ напряженного состояния на границе предельной и упругой областей. Напряженное состояние в упругой области определяется решением задачи Ламе для цилиндрического массива с внутренним радиусом «полости» r_2 и внешним радиусом r_3 – наружным контуром массива. Решение рассмотренной задачи может иметь приложение кроме проектирования емкостей к расчетам прочности значительного по глубине ледового поля вокруг цилиндрического опускного колодца.

Ключевые слова: ледовый массив, вертикальная цилиндрическая полость, напряженное состояние, избыточное радиальное давление, расчет.

UDC 539.3:551.322. **Axisymmetric problem of the ultimate stress state of an ice massif with an internal cylindrical cavity.** Geniev G.A., Pyatikrestovskiy K.P. JSC «SIC «Construction» – TSNIISK named after V.A. Kucherenko Moscow, Russia.

The article gives the solution for an important practical problem on the stress state of the cylindrical ice array with an internal cavity where there is an action of an excess radial pressure. The cross section of the massif is orthogonal to the vertical axis Z. The solid line denotes the boundary of the internal cavity of r_1 radius, on which the pressure p_1 acts. The dashed line represents. The massif is divided by concentric circles that represent the outer boundary of the ice ultimate state area, the value of which is unknown beforehand and depends on the value of acting radial pressure. Along the axis Z direction the conditions of plane strain $\epsilon_z = 0$ are realized. The differential equation is to be compiled and to be solved by changing variables for two values of the internal pressure in the cavity at the temperature of -20 °C. The qualitative analysis of the stress state at the boundary of ultimate and elastic areas is to be performed. The stress state in the elastic area is determined by the solution of Lamé's problem for a cylindrical massif with an inner «cavity» of the radius r_2 and the outer radius r_3 which is the outer contour of the massif. The solution to the considered problem can be applied to strength calculations of an ice field significant in depth around buried cylindrical caisson coffer and to design of reservoirs.

Key words: ice massif, vertical cylindrical cavity, stress state, excessive radial pressure calculation.

М.П. СОН, к.т.н., доц. Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь
КОЭФФИЦИЕНТ УСЛОВИЙ РАБОТЫ СТЕНКИ КОЛОННЫ ВО ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ...11

Показано, что действие местной нагрузки, перпендикулярной стенке колонны, вызывает не только сжатие (растяжение) в ней, но также изгиб. В результате испытаний восьми полномасштабных натурных моделей получены показания деформаций 29 пар тензорезисторов, наклеенных по разные стороны стенки колонны. Статистическая обработка результатов показывает, что с вероятностью 95 % отклонение деформаций в крайних фибрах стенки не превысит 0,1 в средних. Что предлагается учитывать в расчетах с помощью коэффициента условий работы равного 0,9.

Ключевые слова: фланец, узел, колонна, коэффициент условий работы.

UDC 624.04: 624.014. **Partial ratio of the column wall in flange connections.** Son M.P., Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

The article shows that local loads action, perpendicular to the wall of the column, causes not only compression (tension) in it but also flexion. As a result of 8 experiments of full-scale models were obtained deformation values readied from 29 pairs of tensoresistors glues on different sides of the wall of the column. Statistical analysis of these results shows that with the probability of 95% the deflection of deformations in the extreme fibers of the wall from the average will not exceed 0.1 of its value. That is proposed to be taken into account in calculations partial ratio 0.9.

Key words: flange, node, column, partial ratio.

**А.В. ИГНАТЬЕВ, к.т.н., доц., В.А. ИГНАТЬЕВ, д.т.н., проф., В.В. ГАБОВА, к.т.н. (Волгоградский государственный технический университет)
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ДЕФЕКТЫ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ ПЛОСКИХ РЕГУЛЯРНЫХ БАЛОЧНЫХ ФЕРМ...17**

Предложена методика численного расчета плоских регулярных балочных ферм со сложной решеткой, основанная на МКЭ в форме классического смешанного метода, позволяющая не только верифицировать результаты расчета таких ферм, выполненных другими исследователями, но и дать объяснения некоторым выявленным ими особенностям их поведения под нагрузкой, в зависимости от типов решетки. Показана также некорректность некоторых выводов и заключений по результатам расчета некоторых типов таких ферм с использованием программного комплекса «ЛИРА-САПР 2013 R5».

Ключевые слова: плоские регулярные балочные фермы, сложная решетка, конструктивные дефекты и особенности

UDC 624.04: 519.6. **Structural features and defects of some types of planar regular beam truss.** Ignatev A.V., Ignatev V.A., Gabova V.V., Volgograd State Technical University, Russia.

In this paper, we propose a technique for the numerical calculation of planar regular beam trusses with complex lattice, based on the FEM in the form of a classical mixed method, which allows us not only to verify the results of the analysis of such trusses performed by other researchers, but also to explain some of the features of their behavior under load, depending on the types of lattice. The incorrectness of certain conclusions based on the results of calculation of some types of such trusses using the LIRA-SAPR 2013 R5 software package is also discussed.

Key words: planar regular beams truss, complex grid, structural defects and features of the stress-strain state.

Расчёты на сейсмостойкость

Г.М. НИГМЕТОВ¹, к.т.н., доц., В.А. АКАТЬЕВ², д.т.н., проф., А.М. САВИНОВ¹, инж., Т.Г. НИГМЕТОВ¹, инж. ¹Научно-исследовательский институт гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, ²МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ ДИНАМИКО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ С СИСТЕМОЙ «ГРУНТ — СООРУЖЕНИЕ»...24

Представлены результаты исследований авторов по оценке сейсмостойкости зданий с применением экспериментально-расчетного способа — динамико-геофизических испытаний. Были выявлены характерные особенности разрушающего воздействия сейсмических волн на здания и сооружения в зависимости от характера местности, грунтовых условий, конструктивного исполнения и геометрии зданий и сооружений.

Ключевые слова: оценка сейсмостойкости зданий, поверхностные волновые воздействия, расчетно-экспериментальный метод.

UDC 699.84. **Estimation of seismic resistance of buildings by the dynamic-geophysical method, taking into account the peculiarity of the interaction of the seismic wave with the «soil – construction» system.** Nigmatov G.M., Savinov A.M., Nigmatov T.G., Research Institute for Civil Defense and Emergencies; Akatiev V.A., Moscow State Technical University named after N.E. Bauman.

The existing approaches to assess seismic resistance of buildings and structures are mainly based on the vibrational quasistatic approach and do not take into account the specific features of the wave action. While practical data show that the destruction of buildings from seismic action depends on ground conditions, topography, direction of the seismic wave, geometry and structural design of the building, the peculiarities of the location stiffness cores in the form of lift shafts and staircases. The influence of all these factors can be taken into account for existing objects by analyzing the nature of the passage of seismic waves through the «soil-structure» system using a multichannel measuring system. In this article given results of scientific researches provided by usage of a method of dynamic geophysical tests in zones of catastrophic earthquakes. In the course of the research, there were characteristic features of the destructive effect of seismic waves on buildings and structures, depending on the nature of the terrain, ground conditions, structural design, geometry of buildings and structures.

Key words: estimation of seismic resistance of buildings, surface wave effects, calculation and experimental method.

Расчёты на надежность

В.С. УТКИН, д.т.н., проф. (Вологодский государственный университет)

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ВИСЯЧИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ В ГРУНТЕ ОСНОВАНИЯ...31

Рассмотрен метод расчета надежности висячих свай по критериям прочности материала сваи в ее верхней части с наибольшими усилиями в свае и по несущей способности грунта основания фундамента, на основе нового подхода к работе сваи по обоим критериям ее работоспособности. Так прочность железобетонной сваи проверяется с учетом гипотезы плоских сечений из которой следует, что один из материалов достигает предельных деформаций, а второй остается недоиспользованным по своей несущей способности из-за большей его деформативности. Расчет надежности сваи по несущей способности грунта основания исходит из условия возникновения в свае сил трения-сцепления, вызванных деформацией материала сваи, при воздействии на нее сжимающей силы, а не силами трения при «срыве» сваи, принятых в нормативных документах (СП). Так как надежность сваи можно определить только по информации результатов ее испытаний, то статистическая информация для расчета ее надежности всегда ограниченная (неполная) и результаты вероятностно-статистических методов расчета надежности некорректны, поэтому расчет надежности висячих свай в работе проводится возможным методом с интервальным показателем надежности.

Ключевые слова: висячая свая, надежность сваи, прочность материала сваи, несущая способность грунта, интервал надежности, последовательная система.

UDC 624.154. **Reliability analysis of reinforced concrete friction piles in soil base.** Utkin V.S., Vologda State University, Vologda, Russia.

There is necessary to develop methods of reliability analysis of structural elements of buildings and structures in accordance with the requirements of new standards on the mechanical safety ensuring in the construction industry. In this regard, the article describes the method of reliability (safety) analysis of reinforced concrete piles for pile foundations. The article presents the method of reliability analysis of the friction piles according to the strength criterion of the pile material in its upper part with the greatest efforts in the pile and to the bearing capacity of the soil base. The offered methods based on the new approach of the piles design along both criteria of limit state. So, the strength of the reinforced concrete piles is verified considering the Bernoulli hypothesis, from which it follows that one of the materials reaches the ultimate strain, while the other remains underutilized for its load-bearing capacity because of the greater deformability. Reliability analysis of piles by soil bearing capacity criterion comes from the conditions of the friction forces in the piles caused by the deformation of the piles material, when subjected to compressive forces and not only friction forces in the «failure» of the pile, which adopted in the regulations (SP). As the reliability of piles can be determined only according to the testing results, the statistical information for the reliability analysis is always limited (incomplete) and the results of the probabilistic-statistical methods of reliability analysis is incorrect, so the reliability analysis of friction piles in the article carried out possibilistic method with interval reliability index. The proposed method of the reliability analysis of single pile will allow us to analyze the reliability of the pile foundation as a mechanical system in terms of reliability theory. And the proposed method is the basis for the mechanical safety of above-foundation structure.

Key words: friction pile; reliability of a pile; pile material durability; the bearing ability of soil; reliability interval; consecutive system.

Динамические расчеты

И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. (РУТ МИИТ, г. Москва)

АЭРОДИНАМИКА БАЛОЧНЫХ МОСТОВ, МОДЕЛИРУЕМЫХ ТОНКОСТЕННЫМИ СТЕРЖНЯМИ, ПРИ ДЕЙСТВИИ ИНЕРЦИОННОЙ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ...36

Предлагается численный метод исследования совместных колебаний балочных пролетных строений мостов, взаимодействующих с подвижной инерционной нагрузкой (железнодорожной или автомобильной), при действии на указанную систему поперечного воздушного потока (в рамках скоростей, разрешающих движение по мосту). Методика строится на примере исследования взаимодействия двухпутного пролетного строения моста на ВСМ и высокоскоростного железнодорожного состава. При описании колебаний пролетного строения, в том числе, от самовозбуждающихся подъемных сил и моментов, при действии ветрового потока, движущегося со скоростью V , используются аэродинамические коэффициенты. При описании вертикальных и крутильных колебаний балки, учитывается связанность крутильных и поперечных ее колебаний. Рассматривается поперечная и вертикальная динамика подвижной нагрузки. Железнодорожный путь на пролетном строении и вне моста заменяется упруго-вязкими линейными и нелинейными элементами, каждый вагон состава моделируется механической системой с 25 степенями свободы. Учитываются поперечные смещения колесных пар относительно инертного рельса с учетом сил псевдоскольжения при влиянии колесных пар. Рассмотрены случаи возникновения срывного флаттера для пролетного строения, используя периодическую функцию для моделирования интенсивности сил, действующих на пролетное строение поперек воздушного потока.

Ключевые слова: колебания двухпутных мостов, боковая динамика, скоростные составы, тонкостенные стержни с открытым и замкнутыми профилями, шаговые процедуры, силы псевдоскольжения, аэродинамические коэффициенты, срывной флаттер.

UDC 624.07.534.1. **Aerodynamics of beam bridges, modelled by thin-walled rods under the action of moving inertial load.** Ivanchenko I.I., Moscow State University of Railway Engineering, MIIT, Moscow, Russia.

The article proposes a numerical study method for joint oscillations of beam superstructures of bridges that interact with a moving inertial load (rail or road) under the action on the mentioned system of transverse air flow (within the speed allowing traffic on the bridge). The method is based on the study example of the interaction of double-track span of a bridge with a high-speed railway and a high-speed train. The aerodynamic coefficients are used in the description of oscillations of a superstructure including the self-excited lift forces and moments under the action of wind flow moving with velocity V . The binding of torsional and transverse vibrations is taken into account in the description of vertical and torsional vibrations of a beam. The transverse and vertical dynamics of a moving load is discussed. Railway track on the span structure and outside of a bridge is replaced by elastic-viscous non-linear elements, each wagon is modelled by a mechanical system with 25 degrees of freedom. The cases of occurrence of stall flutter for the superstructure using a periodic function to the force intensity model acting on the superstructure across airflow are considered.

Key words: oscillations of double-track bridges, side dynamics, high-speed trains, thin-walled rods of open and closed profiles, stepping procedure, pseudo slip power, aerodynamic coefficients, stall flutter.

Численные расчеты

**Ю.В. КЛОЧКОВ¹, д.т.н., проф., А.П. НИКОЛАЕВ¹, д.т.н., проф., М.Ю. КЛОЧКОВ², инж. (Волгоградский государственный аграрный университет, ²МГУ им.М.В. Ломоносова)
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ ВАРИАНТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НДС ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ПОПЕРЕЧНОГО СДВИГА...46**

Разработан конечный элемент тонкой оболочки на основе гипотезы Тимошенко. При получении определяющих геометрических соотношений рассматриваются два варианта отсчета угла поворота нормали, которые в дальнейшем сравниваются между собой. Элементом дискретизации выбирается четырехугольный фрагмент срединной поверхности с узлами i, j, k, l . В качестве узловых варьируемых параметров были использованы компоненты вектора перемещения, их первые производные по криволинейным координатам, а также компоненты вектора углов поворота нормали. В работе представлен численный пример расчета фрагмента эллиптического цилиндра, позволяющий сделать вывод об удовлетворительной точности разработанного алгоритма.

Ключевые слова: тонкая оболочка, поперечный сдвиг, угол поворота нормали, четырехугольный элемент.

UDC 539.3. **Comparative analysis of two variants of determination of stressed-deformed states thin shells with regard to the transverse shear.** Klochkov Yu.V., Nikolaev A.P., Volgograd State Agrarian University; Klochkov M.Yu., Moscow State University named after M.V.Lomonosov, Russia.

The final element of the thin shell was developed on the basis of Timoshenko's hypothesis. The article describes the algorithm of linear calculation thin shells considering transverse shear deformation on the basis of the finite element method (FEM). Upon receipt of determining the geometric relationships are considered two versions of the reference rotation angle of the normal, which in future are compared. As element selected quadrilateral fragment of the middle surface with nodes i, j, k, l . As of usual varied parameters of the displacement vector components are used, their first derivatives with respect to curvilinear coordinates, as well as the components of the rotation angles of the normal vector. This paper presents a numerical example of calculation of a fragment of an elliptical cylinder, which allows to conclude that satisfactory accuracy of the developed algorithm.

Key words: thin shell, transverse shear, rotation normal, quadrilateral element.

Е.И. БРИТВИН¹, канд.физ.мат.наук, А. ПЕЙСИН², инж., М. ЭЙСЕНБЕРГЕР², д-р философии, проф. (¹Днепрпроектстальконструкция, г.Днепропетровск, Украина, ²Израильский технологический институт «Технион», Хайфа, Израиль)

ДЕФОРМИРУЕМЫЙ В СВОЕЙ ПЛОСКОСТИ ТРЕУГОЛЬНЫЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ...53

Используя известное решение для треугольного мембранного конечного элемента с 10-ю узлами (20 ст.св.), деформируемого в своей плоскости, выведен новый треугольный элемент (3 узла, 9 ст.св.). Поступательные степени свободы шести промежуточных узлов на сторонах треугольника и центрального узла элемента преобразуются в 3 вращательные степени свободы в угловых точках, что приводит к новому элементу с девятью степенями свободы. Независимыми степенями свободы на каждом узле являются два смещения и поворот, перпендикулярный плоскости элемента. Показано, что точность решения может быть улучшена путем выбора соответствующего значения параметра пузырьковых функций формы. Даны сравнения с известными результатами и продемонстрированы отличные поведение полученного элемента.

Ключевые слова: конечный элемент, треугольный мембранный элемент, вращательные степени свободы.

UDC 539.3. **Advanced triangular membran finite element with drilling degrees of freedom.** Britvin E.I, Institute «Dneprproektstalkingonstruksiya, Ukraine; Eisenberger M., Peysin A., Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa, Israel.

Using the well-known 10 node (20 DOF) membrane triangular element for in-plane static analysis, a new triangular element (3 nodes, 9 DOF) is derived. The 6 nodes along the edges and the central node of the element are transformed to 3 drilling degrees of freedom at the corner nodes, resulting in a nine degree of freedom new element. The independent degrees of freedom at each node are the two displacements and a rotation perpendicular to the plane of the element. The stiffness matrix of the new element is given explicitly as the product of numerical matrices. It is found that the accuracy of the newly derived element can be improved by assigning values to a parameter that controls the resulting bubble functions in the interior of the element. Comparisons with known results are given and demonstrate the excellent results of the new element.

Key words: structural finite element, triangular membrane element, drilling degrees of freedom.

[В помощь проектировщику](#)

А.А. ПОГОРЕЛЬЦЕВ, к.т.н., В.О. СТОЯНОВ, инж. АО«НИЦ«Строительство» (ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко), г.Москва УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК С ТРЕЩИНАМИ НАКЛОННЫМ АРМИРОВАНИЕМ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ...60

Клеевые соединения элементов изгибаемых деревянных конструкций подвержены риску расслабления в результате внутренних напряжений, обусловленных переменными температурно-влажностными воздействиями, нарушением условий эксплуатации, требований к транспортировке и монтажу, непрочности. На сегодня вопросы ремонта и усиления деревянных конструкций, становятся все актуальнее. Применение стальных стержней часто является нежелательным, либо недопустимым из-за риска коррозии. В статье приводятся результаты исследования работы стеклопластиковых стержней в качестве связей сдвига в составных элементах и элементах с продольными трещинами. По результатам исследования приведена методика расчета и конструирования усиления наклонно вклеенными стержнями из стеклопластиковой арматуры в соответствии с новым СП 64.13330.2017. Приводится численный пример расчета и конструирования усиления.

Ключевые слова: древесина, трещина, связи сдвига, стеклопластик.

UDC 694.143, 69.04. **Strengthening of wooden beams with cracks by inclined reinforcement with fiberglass reinforcement.** Pogoreltsev A.A., Stoianov V.O., JSC «SIC «Construction» – TSNIIISK named after V.A. Kucherenko Moscow, Russia.

Glue joints of elements of bent timber structures are subject to the risk of stratification as a result of internal stresses caused by variable temperature and humidity influences, violation of operating conditions, transport and installation requirements, non-compliance. Today, the issues of repair and strengthening of wooden structures are becoming more urgent. The use of steel rods is often undesirable or unacceptable due to the risk of corrosion. The article presents the results of the investigation of the operation of GRP rods as shear bonds in composite elements and elements with longitudinal cracks.

Based on the results of the research, a technique for calculating and constructing the gain by obliquely pasted rods from fiberglass reinforcement is presented in accordance with the new SP 64.13330.2017. A numerical example of calculation and design of amplification is given in the article.

Key words: timber, crack, shear bonds, GRP.

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., проф. Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске НОВЫЙ СПОСОБ ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЯ КРУГЛЫХ ТРУБ И РАСЧЕТ ЕГО ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...66

Представлено новое техническое решение перепрофилирования круглых труб в плоскоовальные с отношением габаритов 1/3,064, что повышает их прочность на изгиб. Приведен расчет оптимальных параметров тонкостенных сечений плоскооальной формы по приближенной методике, корректность которой подтверждена тестированием с использованными стандартных профилей. Такой расчет повторен применительно к тонкостенным сечениям овальной формы. Представлена вся диаграмма изменений расчетных параметров плоскооальных и овальных труб при трансформации их поперечных сечений от вертикальных конфигураций к горизонтальным, включая переход через очертание круглой формы. Выполнен сравнительный анализ оптимизированных сечений плоскооальных, овальных и круглых труб с учетом упругих и упруго-пластичных деформаций конструкционного материала, где в качестве разделительной черты между этими деформациями принята протяженность средней линии тонкостенного сечения. Показано, что для роста несущей способности плоскооальных и овальных профилей на изгиб более предпочтительно перепрофилирование круглых труб без увеличения протяженности средних линий их поперечных сечений. Обоснован выбор в пользу плоскооальных профильных труб за счет их более простой формы, включающей грани постоянной кривизны (плоские и полукруглые), сравнительно низкой себестоимости, меньшей высоты, большей компактности, повышенного момента сопротивления.

Ключевые слова: способ перепрофилирования, трубчатые профили, плоскоовал, овал, оптимизация сечений, расчет оптимальных параметров, балочные конструкции.

UDC 624.072.2.014. **A new way of reprofiling of round pipes and the calculation of its optimal parameters for beam structures.** Marutyan A.S., North-Caucasian Federal University, Pyatigorsk, Russia

The article presents the new technical solution for reshaping of round pipes into plain oval ones with the ratio of size 1/3.064 which increases their bending strength. The calculation of the optimal parameters of thin-walled cross-sections of plain oval shape according to the approximate method is given, the correctness of the method is confirmed by the tests using standard profiles. Such calculation was remade for thin-walled oval cross-sections. The article shows the entire chart of design parameters' changes for plain oval and oval pipes at the transformation of their cross-sections from a vertical configuration to a horizontal one, including the outline of a round shape. The comparative analysis of optimized cross-sections of plain oval, oval and circular pipes taking into account elastic and elastic-plastic deformations of structural material is carried out, where the dividing line between these deformations is a length of the middle line of a thin-walled section. The choice is proved in favour of plain oval profile pipes due to their more simple form, relatively low cost, lower height, greater compactness, increased moment of resistance.

Key words: reprofiling method, pipe profiles, plain oval, oval, cross-section optimization, calculation of optimal parameters, beam structures.

М.К. ИЩУК, к.т.н., зав.лабораторией ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО«НИЦ«Строительство»), г.Москва ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КЛАДКИ ЛИЦЕВОГО СЛОЯ НАРУЖНЫХ СТЕН С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ...72

Обобщены результаты натурных обследований зданий с наружными стенами из многослойной кладки, выявившие дефекты кладки и причины появления трещин в лицевых слоях, вызываемых как правило, температурно-влажностными деформациями и нарушениями при устройстве деформационных швов. Приведены результаты экспериментальных исследований крупномасштабной модели размерами 2×9×2,9 (h) м. Выявлены основные качественные и количественные показатели НДС кладки лицевого слоя в зависимости от характера опирания и годового хода температуры, необходимые для разработки и корректировки расчетных схем МКЭ.

Ключевые слова: трехслойные стены с гибкими связями, НДС кладки лицевого слоя, температурно-влажностные деформации, прочность кладки на растяжение, ширина раскрытия трещин.

UDC 693.22. **Investigation of the stress-strain state of the laying of the face layer of external walls with flexible connections at temperature-humidity influences.** Ischuk M.K., «SIC

«Construction» – TSNIIISK named after V.A. Kucherenko Moscow, Russia

The results of full-scale surveys of buildings with external walls of multilayer masonry, revealing defects in the masonry and the causes of the appearance of cracks in the face layers, caused, as a rule, by temperature-humidity deformations and disturbances in the construction of expansion joints are generalized. The results of experimental studies of a large-scale model with sizes of 2r9r2.9 (h) m are presented. The main qualitative and quantitative indices of the stress-strain state of the laying of the face layer are determined, depending on the nature of the support and the annual temperature variation necessary for the development and correction of the design schemes for FEM.

Key words: three-layered walls with flexible connections, stress-strain state of laying of the face layer, temperature-humidity deformations, tensile strength of the masonry, crack opening width.

№ 2 за 2018год

[Расчёты на прочность](#)

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства МОДИФИЦИРОВАННАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ...2

Рассматривается модификация деформационной теории пластичности сыпучей среды, предложенной профессором Г.А. Гениевым. Предлагается определять дилатансионную составляющую объемной деформации как некоторую часть от квадрата общей объемной деформации, тем самым исключая в переменном модуле объемной деформации деление на ноль. Максимальная величина коэффициента дилатансии при этом будет определяться как величина, обратная предельной объемной деформации при чистом сдвиге. Остальные константы модифицированной модели будут совпадать с константами деформационной теории пластичности сыпучей среды Г.А. Гениева. Если не учитывать явление дилатансии, то есть разрывление среды от действия касательных нагрузок, то деформационные соотношения теории пластичности сыпучей среды Г.А. Гениева полностью совпадают с деформационными соотношениями модифицированной теории пластичности сыпучей среды. Определены условия, при выполнении которых сплошная среда описывается уравнениями модифицированной деформационной теории пластичности сыпучей среды. В качестве примеров рассмотрено построение диаграмм сдвигового и объемного деформирования для характерных случаев плоской деформации сыпучей среды. Показано, что при двухосном и одноосном удлинении для некоторых значений констант среды ее механическое поведение перестает описываться уравнениями модифицированной деформационной теории пластичности сыпучей среды.

Ключевые слова: сыпучая среда, математическая модель, дилатансия, деформационные соотношения, переменные модули.

UDC 539.371. **Modified deformation theory of loose medium plasticity.** Bakushev S.V., Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

Under analysis is the modification of loose medium plasticity deformation theory, suggested by Prof. G.A. Geniev. It is suggested to consider dilatancy component of volumetric strain as some part of total volumetric strain square, therefore, we exclude zero divide at the variable module of volumetric strain. In this case, dilatancy coefficient max will be determined as reciprocal of a limiting value of volumetric strain at pure shift. Other invariables of modified module will coincide with invariables of loose medium plasticity deformation theory by G.A. Geniev. If we leave out of account dilatancy phenomenon, that is dilatation of medium because of sharing loads action, then deformation ratio of the loose medium plasticity theory by G.A. Geniev will totally coincide with deformation ratio of modified theory of loose medium plasticity. There determined the conditions, in case of meeting them, continuous medium will be described by equations of modified deformation theory of loose medium plasticity. As examples we can study construction of diagrams of shearing and volumetric strain for typical cases of loose medium plane deformation. It is stated that at biaxial and uniaxial elongation for some invariables of medium its mechanical behaviour can't be described any more by equations of modified deformation theory of loose medium plasticity.

Key words: loose medium, symbolic model, dilatancy, deformation ratio, variables.

А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., проф. Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г. Киев, Украина
ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ...9

В промышленных и общественных зданиях, подземных и полузаглубленных резервуарах часто устраивают безбалочные перекрытия, опирающиеся на промежуточные колонны. Чтобы предотвратить сдвиговое разрушение плиты, колонны снабжают капителями. Капители уменьшают пролеты плиты, а потому уменьшаются толщина плиты, армирование и затраты на возведение. Вместе с тем увеличиваются затраты на устройство самих капителей. Поэтому суммарная стоимость конструкций может иметь минимум в области параметров проектирования, то есть можно отыскать оптимальные размеры капителей. Рассмотрены две возможные формы исчерпания несущей способности перекрытия – изгибная и сдвиговая. Для верхних границ предельной нагрузки получены оценки в замкнутой форме. Обсуждаются условия конкуренции этих форм разрушения. Представлена целевая функция оптимизационной задачи – суммарная стоимость конструкции. Приведены примеры оптимальных проектов. Проведен их анализ и даны практические рекомендации для проектирования.

Ключевые слова: безбалочное перекрытие, капитель, точечное опирание плиты, оптимизация.

UDC 624.04.539.376. **On Beamless ceiling design.** Dekhtyar' A.S., National Academy of Fine Arts and Architecture, Kiev, Ukraine

Industrial and public buildings, underground and semi-underground reservoirs often have the beamless ceilings supporting on columns. To avoid the shear destruction in the supporting points in columns the caps are arranged. Caps diminish the spans of plate therefore the thickness of plate and its cost diminish also. From other side the increase of sizes of caps conduces to the increase of their cost. It is clear that there is an optimization task — it is possible to find the best sizes of cap.

Key words: beamless ceiling, cap optimization, point supporting.

Р.К. МЕХТИЕВ, канд.физ.мат.наук, доц., Н.Г. ПОЛАДОВ, к.т.н., А.К. МЕХТИЕВ, канд.физ.мат.наук, доц. Азербайджанский технический университет, Азербайджан
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВОЯКОПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНОРОДНЫХ УПРУГИХ ВКЛЮЧЕНИЙ И ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ СДВИГЕ...13

Рассматривается задача механики разрушения о взаимодействии упругих включений, поверхность которых равномерно покрыта однородной пленкой, и волока имеет трещин. Предложена модель трещин в композитах с двоякопериодической структурой, основанная на рассмотрении зоны трещинообразования. Принято, что зона трещинообразования представляет собой слой конечной длины, содержащей материал с частично нарушенными связями между отдельными структурными элементами. Строятся общие представления решений, описывающие класс задач с двоякопериодическим распределением напряжений вне круговых отверстий и прямолинейных трещин. Удовлетворяя граничным условиям на контурах круговых отверстий и берегах трещин, получена бесконечная алгебраическая система и явно сингулярное интегральное уравнение. Затем используя прямые методы, решение интегрального уравнения сведено к конечной алгебраической системе. Численная реализация изложенного способа приведена на IBM. Вычислены коэффициенты интенсивности напряжений в зависимости от геометрических параметров рассматриваемой среды.

Ключевые слова: двоякопериодическая решетка, толщина покрытия, волока – покрытие, покрытие – связующее, средние напряжения, линейные алгебраические уравнения, сингулярные уравнения.

UDC 539.375. **Interaction of the two-periodic system of foreign urgent inclusions and rectangular cracks with the transverse shift.** Mekhtiev R.K., Poladov N.G., Mehdiyev A.K., Azerbaijan Technical University, Baku.

At the stage, the problem of fracture mechanics is discussed about the interaction of elastic inclusions, the surface of which is uniformly covered with a homogeneous film, and the fiber has a crack. A model of cracks in composites with a doubly periodic structure based on the examination of the cracking zone is proposed. It is assumed that the cracking zone is a layer of finite length containing material with partially broken bonds between individual structural elements. General representations of solutions that describe a class of problems with a doubly periodic distribution of stresses outside circular holes and rectilinear cracks are constructed. Satisfying the boundary conditions on the contours of the circular holes and the shores of the cracks, an infinite algebraic system and an explicitly singular integral equation are obtained. Then using direct methods, the solution of the integral equation is reduced to a finite algebraic system. The numerical implementation of this method is given in IBM. The stress intensity factors are calculated as a function of the geometric parameters of the medium under consideration.

Key words: doubly periodic lattice, coating thickness, coating fibers, coating-binder, average stresses, linear algebraic equations, singular equations.

С.Н. КРИВОШАПКО, д.т.н., проф. (Российский университет дружбы народов, г. Москва)
ПРИМЕНЕНИЕ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРСОВЫХ ОБОЛОЧЕК. ОБЗОР РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПОСЛЕ 2008г...19

После выхода из печати монографии автора «Геометрия линейчатых поверхностей с ребром возврата и линейная теория расчета торсовых оболочек» (М.: Изд-во РУДН, 2009, 357 с.), где подробно анализируются основные работы, опубликованные до 2008 года, появились новые работы, посвященные геометрии, применению и расчету на прочность тонких оболочек со срединной торсовой поверхностью. Некоторые результаты исследований имеют новизну и определенный научный и практический интерес, а некоторые работы или совершенствуют ранее предложенные методы, или предлагают новые варианты применения торсовых поверхностей. В статье анализируются новые результаты, полученные за последние 10 лет и связанные с запросами инженерной практики и архитектуры изделий, конструкций и сооружений.

Ключевые слова: торсовая поверхность, конструирование торсов, торсовые оболочки, геометрическое моделирование, напряженно-деформированное состояние оболочки.

UDC 624.04:074.4:513.73. **Application and geometric researches of tangent developable surfaces and the determination of stress-strain state of thin tangential developable shells: a review of papers, published after 2008.** Krivoshapko S.N., Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia.

After publication of the author's monograph Geometry of Ruled Surfaces with Cuspidal Edge and Linear Theory of Analysis of Tangential Developable Shells, M.: Izd-vo RUDN, 2009, 357 p., where general works published before 2008 were analysed, new papers appeared devoted to geometry, application and strength analyses of thin shells with the middle developable surface. Some results of investigations have newness and definite scientific and practical interest but some works improve methods presented before or propose new variants of application of tangent developable surfaces. In a paper, new results derived past the last 10 years and connected with needs of engineer practice and architecture of manufactured articles, structures, and erections, are analysed.

Key words: tangential developable, design of a torse, tangential developable shell, geometric modeling, stress-strain state of the shell.

М.О. МОИСЕЕНКО, к.т.н., О.Н. ПОПОВ, к.т.н., Т.А. ТРЕПУТНЕВА, инж., А.В. ГОРДИЕНКО, инж. (ТГАСУ, г. Томск)

ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИН НАПРЯЖЕНИЙ, ПРОГИБОВ В ПЛАСТИНЕ С НАЧАЛЬНЫМ ПРОГИБОМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕРАВНОМЕРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ...26

Исследуется напряженно-деформируемое состояние двухпольной пластины, находящейся под действием неравномерного температурного поля. Материал конструкции – сплав Вт6. Гибкость пластины составляет 33,3. Расчет ведется с учетом начального прогиба, геометрической нелинейности по Т. Карману, а также с учетом изменения механических свойств материала от температурного воздействия. В рассматриваемом диапазоне температур пластические деформации не возникали. Для получения оценки напряженно-деформируемого состояния в пластине, находящейся под температурным воздействием определялись интенсивность напряжений и перемещения без учета и с учетом начального прогиба. Из полученных результатов сделаны следующие выводы: а) результаты линейных расчетов показывают большую погрешность по сравнению с результатами, полученными с учетом геометрической нелинейности и с учетом неоднородности физических свойств материала от температуры; б) при расчетах тонкостенных элементов с разрывными параметрами на действие внешней нагрузки необходимо одновременно учитывать начальный прогиб, геометрическую нелинейность, неоднородность связанную с переменным температурным полем. Неучет одного из вышеперечисленных факторов приводит к значительной погрешности полученных результатов; в) графики зависимости напряжений и прогибов от температуры в пластине гибкостью $a/h = 33,3$ изменяются более монотонно (плавно), чем в пластине гибкостью $a/h = 50$; г) при температуре 400 °C поведение пластины гибкостью $a/h = 33,3$ становится ближе к поведению гибкой пластины гибкостью $a/h = 50$. Изменяется знак напряжения.

Ключевые слова: пластина, начальный прогиб, физическая нелинейность, геометрическая нелинейность, температурное воздействие.

UDC 7.04:535.4.011.22.23. Changes of voltage stresses, signs in the plates with initial damping, under action of the unequal-dimensional temperature field. Moiseenko M.O., Popov O.N., Treputneva T.A., Gordienko A.V., TGAU, Tomsk, Russia. The stress-strain state of a two-field plate under the influence of an uneven temperature field is investigated. Material of construction — alloy W6. The flexibility of the plate is 33.3. The calculation is carried out taking into account the initial deflection, the geometric nonlinearity according to T. Karman, and also taking into account the change in the mechanical properties of the material from the temperature effect. In the considered temperature range, plastic deformations did not arise. To obtain an estimate of the stress-strain state in a plate under the influence of temperature, the stresses and displacements were determined without taking into account and taking into account the initial deflection. From the results obtained the following conclusions are drawn: a) the results of calculations obtained in linear calculations show a large error, in comparison with the results obtained with allowance for the geometric nonlinearity and taking into account the inhomogeneity of the physical properties of the material from the temperature; b) when calculating thin-walled elements with discontinuous parameters on the action of an external load, it is necessary simultaneously to take into account the initial deflection, geometric nonlinearity, the inhomogeneity associated with the variable temperature field. Not taking into account when calculating one of the above factors leads to a significant error in the results obtained; c) the graphs of the dependence of stresses and deflections on the temperature in the plate with the flexibility $a/h = 33,3$ change more monotonously (smoothly) than in the plate with the flexibility $a/h=50$; d) at a temperature of 400 °C, the behavior of the plate with flexibility $a/h=33.3$ becomes closer to the behavior of the flexible plate by the flexibility $a/h=50$.

Key words: plate, initial deflection, geometric nonlinearity, temperature influence, mechanical properties of the material.

В.П. ШАРКОВ, к.т.н., доц. РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва

ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК ОТ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СТЕНКИ СИЛОСОВ ПРИ ИХ РАЗГРУЗКЕ...32

Для частного случая – шероховатых стен силоса – предлагается формула для расчета горизонтального давления заполнителя на его стенки при выгрузке, а также ее параметры. В работе принята гипотеза о возникновении у стен «экстремального» напряженного состояния с развитием касательных напряжений до величины главных. Формула является развитием формул Янсена – Гениева и показывает удовлетворительную точность. Выявлено, что в динамических условиях коэффициент горизонтального давления у стен $\lambda = 1,0$, а коэффициент контактного трения понижается от величины $\operatorname{tg}\phi$ до $\sin\phi$. Формула и ее основной параметр подтверждается результатами опытов.

Ключевые слова: силос, выгрузка заполнителя, горизонтальное давление, касательные напряжения, формула для определения динамического давления, опытное подтверждение.

UDC 69.01. **Formula for calculation horizontal loads from the aggregate on the walls of silos when unloading them.** Sharkov V.P. RGAU – MAAA named after Timiryazev, Moscow, Russia For the particular case of rough walls of the silo provides a formula for calculating the horizontal pressure of the filler on the wall when unloading, and explains its parameters. In the work are assumed to occur at the walls of «extreme» stress state with the development of shear stresses to the value of the home. The formula is the development of formulas Jansen is Genieva and shows a satisfactory precision. Revealed that under dynamic conditions the coefficient of horizontal pressure at the walls $\lambda = 1,0$ and the coefficient of friction decreases with the magnitude of $\operatorname{tg}\phi$ to $\sin\phi$. Formula and its basis parameter is supported by experiments.

Key words: silo, aggregate unloading, horizontal pressure, tangential stresses, formula for determining dynamic pressure, experimental confirmation.

Вероятностные расчёты

В.А. ГРОМАШКОВ, к.т.н., доц. ЦНИИСК им. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

О ПРИМЕНЕНИИ МНОГОМЕРНОГО НОРМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЯХ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ. Часть II...40

Изложены некоторые методы моделирования и вычисления функции распределения (ф.р.) нормального случайного вектора. Представление ковариационной матрицы этого вектора в виде произведения нижней и верхней треугольных матриц, преобразование плотности многомерного стандартного нормального распределения к плотности стандартного независимого нормального вектора позволяют свести вычисление ф.р. (кратного интеграла) стандартного нормального вектора к вычислению повторного интеграла. Линейное преобразование нормального вектора с использованием метода условных функций распределения дает возможность вычислять ф.р. вектора методом Монте-Карло: приведенный алгоритм расчета включает определение необходимого числа статистических испытаний исходя из задаваемой точности и надежности оценки значения кратного интеграла. На основе этих методов в рамках теории надежности первого порядка рассматриваются возможные оценки вероятности отказа последовательной системы – точные и приближенные.

Ключевые слова: многомерное нормальное распределение, преобразование распределения, вероятность отказа, последовательная система.

UDC 624.012.2.046.69.04. **Application of multivariate normal distribution in some models of structure reliability. Part II.** Gromacky V.A., TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC «Research Centre «Construction»), Moscow, Russia

Some methods of modeling and calculation of distribution function of normal random vector are described. The representation of the covariance matrix of this vector as a product of lower and upper triangular matrixes and the transformation of the density of a multidimensional standard normal distribution to the density of a standard independent normal vector allow us to reduce the calculation of distribution function (multiple integral) of the standard normal vector to the computation of the repeated integral. Linear transformation of the normal vector using the method of conditional distribution functions makes it possible to calculate distribution function of vector by Monte Carlo method: the calculation algorithm includes determining the required number of statistical tests based on the specified accuracy and reliability of the multiple integral value estimation. On the basis of these methods within the framework of the theory of reliability of the first order it is possible to estimate probability of failure of sequential system – exactly and approximately.

Key words: multivariate normal distribution, transforming the distribution, probability of failure, sequential system.

Численные методы

Е.А. ЛАРИОНОВ, д.т.н., проф. (МГСУ, г. Москва). ДЕМПФИРОВАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СООРУЖЕНИЙ И СПЛОШНЫХ СРЕД...44

Движение сооружения моделируется как движение совокупности сосредоточенных взаимодействующих масс в конечномерном пространстве и выражается матричным уравнением. Поиск его решений в виде нормальных колебаний порождает матричный пучок, связывающий матрицы масс, демпфирования и жесткостей. При сведении соответствующего однородного уравнения к системе в ортогональной сумме двух связанных с задачей пространств возникает симметричная относительно indefinitного скалярного произведения матриц. Отвечающий этой матрице оператор обладает инвариантным подпространством, которому соответствуют корни матричного характеристического уравнения. Спектральная структура этих корней определяет структуру решений исходного уравнения и характер колебаний сооружения. Задачи математической физики приводят к изучению операторных дифференциальных уравнений и рассмотрению нормальных колебаний соответствующих сплошных сред порождает операторные пучки и операторное характеристическое уравнение. Применение для решения этих задач теории операторов, самосопряженных относительно indefinitного скалярного произведения, дополняет известные ранее результаты.

Ключевые слова: оператор, пучок, собственный вектор, собственные значения, полнота.

UDC 539.3. **Damped vibrations of structures and continuous media.** Larionov E.A., Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

A motion of a structure is modeled as the motion of a set of concentrated interacting masses in a finite-dimensional space and expressed by a matrix equation. The search for its solutions in the form of normal oscillations generates a matrix cluster linking mass-, damping- and stiffness matrixes. When a corresponding homogeneous equation is reduced to a system in the orthogonal sum of two spaces connected with the problem, a symmetric product of matrixes with respect to the indefinite scalar product arises. The operator corresponding to this matrix has an invariant subspace to which the roots of the matrix characteristic equation correspond. The spectral structure of these roots determines the structure of solutions of the initial equation and the nature of oscillations of the structure. Problems of mathematical physics lead to the study of operator differential equations and the consideration of normal oscillations of the corresponding continuous media generates operator beams and operator characteristic equation.

Key words: operator, beam, eigenvector, eigenvalue, completeness.

В.И. ОБОЗОВ, д.т.н., проф. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАПОЛНЕНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ КЛАДКОЙ ИЗ КРУПНЫХ БЛОКОВ...50

Рассмотрено два способа построения объемных конечно-элементных моделей заполнения наружных стен многоэтажных каркасных зданий кладкой из крупноформатных блоков. При прямом методе и блоки и растворные швы моделируются объемными КЭ, при комбинированном методе блоки моделируются объемными КЭ, растворные швы – плоскими КЭ. Анализируются особенности моделирования двуслойного и трехслойного заполнения в вычислительной среде программного комплекса «ЛИРА-САПР». Преимуществом использования объемных расчетных моделей при расчете заполнения наружных стен каркасных зданий, кирпичных простенков, столбов является возможность дифференцированно задавать деформационные характеристики составляющих кладку материалов.

Ключевые слова: объемное моделирование, расчет, кладка, блоки, каркасные здания, заполнение наружных стен.

UDC 624.04. **A method of constructing a balk of computer models for filling of exterior walls of frame buildings with masonry of large blocks.** Obozov V.I. TSNIISK named after V.A.

Kucherenko (JSC «Construction»), Moscow, Russia

Considered two ways to build a volumetric finite element models for filling of exterior walls of multi-storey frame buildings with masonry of large blocks. The direct method and the blocks and mortar joints are modeled by volumetric finite elements, by the combined method, the blocks are modeled by volumetric finite elements, the mortar joints — flat SE. Analyzes the features of the simulation of two-layer and three-layer filling in the computing environment of the software complex «LIRA-SAPR». The advantage of using three-dimensional computational models when calculating the filling of exterior walls of frame buildings, brick walls, pillars is the ability to set differentiated deformation characteristics of the components of masonry materials.

Key words: volumetric modeling, calculation, masonry, blocks, prefab building, filling of external walls.

П.М. ЗАДОЯН, к.т.н., гл.специалист (АО «ПНИИС», г. Москва)

СЕЙСМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ УЩЕЛЬЯ...55

Изучено влияния топографии на сейсмической реакции площадки. Рассматривается местность со сложной геометрией типа ущелья различных форм и изучается сейсмическая реакция по высоте бортов ущелья. При изучении сейсмического поведения на всех случаях применяется одинаковое основание, состоящее из скальных грунтов, что характерно для таких площадок. Рассматривается задача плоской деформаций, с использованием метода гибких объемов, представляющий модификацией концепции метода отнимания вычислительной системы анализа динамического взаимодействия сооружения с основанием (ACS-SASSI). Приводится сопоставление коэффициентов усиления с коэффициентом учета рельефа местности K_4 СП 14.13330, с помощью параметрического анализа устанавливается зависимость коэффициента усиления пиковых ускорений от степени крутизны склонов.

Ключевые слова: сейсмическая реакция, влияние ущелья, динамическое взаимодействие сооружений с основанием, усиление ускорений.

UDC 539.5. **Seismic response with the canyon form effect.** Zadoyan P.M., JSC «PNIIS», Moscow, Russia

The influence of topographic conditions of the site on response seismic is studied in the paper. It is discussed the site with different geometries like canyon shapes and studying seismic response along canyon edge upward. The same site conditions and seismic input are used in the analyses contains by the rock, which is common for such a type of canyon sites. The plane strain problem is considering. The flexible volume method has been applied in the study which is representing a modified method of the subtracting concept of soil-structure interaction analysis (ACS-SASSI). Comparison and discussion of amplification coefficient with the site topographic effect accounting coefficient K_4 of the code СП 14.13330, by parametric analyses the peak ground acceleration amplification coefficient dependences on slope degree is presented.

Key words: Seismic response, canyon effect, soil-structure interaction, acceleration amplification.

А.А. ПЕТРАКОВ, д.т.н., проф., Н.А. ПЕТРАКОВА, к.т.н., доц., М.Д. ПАНАСЮК, инж. Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДонНАСА), Украина
ИТЕРАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МКЭ...62

Статья посвящена развитию численных методов строительной механики. Круг задач ограничивается расчетом конструкций, идеализированных по схеме МКЭ, при статических нагрузках в линейной и нелинейной постановке. Рассмотрен итерационный метод Ньютона – ПВП (последовательной верхней релаксации (ПВР)) для решения уравнений равновесия при расчете конструкций методом конечных элементов (МКЭ). Получен итерационный алгоритм, не требующий для своей реализации сборку матрицы жесткости системы. При этом достигается уменьшение размеров матрицы жесткости и существенное сокращение времени решения задачи.

Ключевые слова: метод Ньютона – ПВР, метод конечных элементов, размеры матрицы жесткости, время решения задачи.

UDC 624.074.042. **Iterative methods for solution MFE tasks.** Petrakov A.A., Petrakova N.A., Panasjuk M.D., Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture (DonNACEA), Ukraine

This article for improving numerical methods of structural mechanics is devoted. The field of solving tasks is static linear or nonlinear analysis of constructions to have model regard to MFE. The Newton Method – SHR to calculate equilibrium equations for structural analysis by method of finite elements has been considered. Iterative algorithm that isn't required for its realization to collect matrix stiffness has been obtained. In this case reduction of matrix stiffness dimensions and essential reduction of time to execute the task have been achieved.

Key words: the Newton method – SHR, method of finite elements, matrix stiffness dimensions, time to execute the task.

Экспериментальные исследования

И.И. ВЕДЯКОВ, д.т.н., проф., П.Д. ОДЕССКИЙ, д.т.н., проф., С.В. ГУРОВ, инж. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ УНИКАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПРОКАТА БОЛЬШИХ ТОЛЩИН ПОВЫШЕННОЙ И ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТИ...68

Обсуждается обеспечение высоких эксплуатационных свойств сварных соединений уникальных строительных конструкций из толстолистового и фасонного проката высокой прочности, при изготовлении на нескольких заводах металлургических конструкций в нашей стране и за рубежом. Рассматриваются материалы сварных конструкций: толстолистовой и фасонный прокаты из стали высокой прочности, представляющие собой материалы третьего поколения для строительных металлургических конструкций; также рассмотрены основные примененные типы сварных соединений конструкций. Рассмотрена предложенная технология сварки и ее особенности в зависимости от типов соединений. Представлены результаты оценки механических свойств соединений, показана их высокая прочность и пластичность. Высокая работоспособность сварных соединений подтверждена проведенными механическими испытаниями металла сварных швов конструкций высотного здания «Лахта-Центр» в г. Санкт-Петербург.

Ключевые слова: уникальные строительные стальные конструкции, сварные соединения, листовый и фасонный прокат из стали высокой прочности, технология сварки, комбинирование способов сварки, эксплуатационные свойства соединений.

UDC 620.17. **Provision of the strength of welded compounds for unique structures from the rolling of large thicknesses of increased and high strength.** Vedyakov I.I., Odessky P.D., Gurov S.V., TSNIISK named after V.A. Kucherenko (JSC «Construction»), Moscow, Russia

It is regarded to provide the welds with high operational properties for the exceptional building steel constructions made of the high strength thickness rolled and shape rolled rollings during manufacturing their at some metal construction plants in our country and abroad. It is considered the following materials of welded constructions: thickness rolled and shape rolled rollings made of high strength steel which are the 3-rd generation materials destined for building metal constructions. Also were considered main applied types of the construction welds. It was considered offered weld technology and its features in depend on welding types. It was submitted the estimation results of mechanical properties of the welds and shown their high strength and plasticity. High work capacity of the welds was confirmed as carried out mechanical tests by the welds in the constructions of high-rise building «Lahta-Center» at the city Saint-Petersburg.

Key words: exceptional building steel constructions, welds, rolled and shaped rolling made of high strength steel, weld technology, combining the methods of weldings, operational properties of welds.

В.И. БОБРОВА, инж. (МГСУ, г. Москва)

ПОСТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ВЛИЯНИЯ ПРОГИБА ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ...2

Рассмотрен численный способ расчета пологих оболочек. Для аппроксимации исходной системы разрешающих дифференциальных уравнений используются обобщенные уравнения метода конечных разностей (МКР). На основании описанного алгоритма при помощи построения итерационного процесса решена задача построения поверхности влияния прогиба для центральной точки пологой оболочки.

Ключевые слова: пологие оболочки, численные методы, метод конечных разностей, МКР, обобщенные уравнения МКР, поверхность влияния.

UDC 624.074. **Influence surface of the deflection for the shallow shell's central point.** Bobrova V.I., Moscow University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

The author considers the numerical method of shallow shells calculation. The generalized finite difference method (FDM) equations are used to approximate the original system of resolving differential equations. Based on the described algorithm with the help of iterative process the problem of generating the influence surface of the deflection for the shallow shell's central point was solved.

Key words: shallow shells, numerical methods, finite difference method, FDM, generalized FDM equations, influence surface.

С.В. БОСАКОВ¹, д.т.н., проф., С.И. ЗИНЕВИЧ², к.т.н., доц., О.В. КОЗУНОВА³, к.т.н., доц. ¹РУП «Институт БелНИИС», ²БНТУ, г.Минск, ³БелГУТ, г.Гомель, Беларусь РАСЧЕТ ШАРНИРНО-СОЕДИНЕННЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ЖЕСТКИХ ПЛИТ НА ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРА...8

В работе рассматривается задача о расчете шарнирно-соединенных в отдельных точках прямоугольных жестких плит на винклеровском основании на произвольную внешнюю нагрузку. Расчет выполняется смешанным методом строительной механики с использованием способа Б.Н. Жемочкина. Смежные плиты соединяются цилиндрическими шарнирами в двух точках. Реализация предлагаемого подхода выполнена для семи шарнирно-соединенных прямоугольных жестких плит под действием трех симметрично приложенных сосредоточенных сил. Проводятся линейные и угловые перемещения плит, реактивные давления на контакте плит с упругим основанием, поперечные силы в соединительных шарнирах. Подход легко обобщается на плиты конечной жесткости и иные модели упругого основания.

Ключевые слова: прямоугольная плита, упругое основание, способ Б.Н. Жемочкина.

UDC 624.13. **Calculation of pivotally connected rigid rectangular plates based on Winkler.** Bosakov S.V., Republican unitary enterprise «Institute BelNIIS», Zinevich S.I., BNTU, Minsk,

Kozunova O.V., BelGUT, Gomel, Belarus

The paper deals with the problem of calculating rectangular rigid plates pivotally connected at certain points on the Winkler basis at an arbitrary external load. The calculation is performed by a mixed method of structural mechanics using the approach of B.N. Zhemochkin. Adjacent plates are connected by cylindrical joints at two points. The implementation of the proposed approach is performed for seven pivotally connected rectangular rigid plates under the action of three symmetrically applied concentrated forces. The linear and angular movements of the plates are shown, the reactive pressure on the plates at the contact with an elastic foundation is given and the shear forces in the connecting hinges are described. The approach is easily generalized to plates of finite stiffness and other models elastic based.

Key words: rectangular plate, elastic base, method of B.N. Zhemochkin.

В.Т. ЕРОФЕЕВ¹, д.т.н., проф., А.С. ТЮРЯХИН¹, к.т.н., доц., И.В. ЕРОФЕЕВА², инж. ¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университетим.Н.П.Огарёва, г.Саранск, ²НИИ строительной физики РААСН, г.Москва)**О СВЯЗЯХ ПАРАМЕТРОВ НЕСУЩЕЙ ФАЗЫ С ЭФФЕКТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В МОДЕЛЯХ ЗЕРНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ...11**

Приведены результаты исследования, показывающие возможность прямого и обратного переходов от эффективных параметров односвязных моделей к параметрам твердой фазы двухсвязной модели. Структура представительного объема для зернистого композита выражается моделью несущей толстостенной сферы, содержащей жидкостное включение. Эффективная модель – упругий однородный изотропный шар. Удовлетворяя условиям эквивалентности и сплошности, выявляется закономерность, которая позволяет решать прямую и обратную задачи. В этих задачах упругие параметры одной из моделей выражаются через таковые другой. Приведен численный пример решения обратной задачи.

Ключевые слова: композит, представительный объем материала, односвязная модель упругого шара, двухсвязная модель толстостенной сферы, эффективные деформации, модуль объемного сжатия, модуль сдвига.

UDC 691.3. **On the connections of the carrier parameters with effective parameters in models of grain composites.** Erofeev V.T.I., Tyuryakhin A.S.¹, Erofeeva I.V.², ¹National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryov, Saransk, ²Research Institute of Building Physics RAASN, Moscow, Russia.

The paper presents the results of a study showing the possibility of direct and inverse transitions from the effective parameters of simply connected models to the parameters of the solid phase of a doubly-connected model. The structure of a representative volume for a granular composite is expressed by a model of a bearing thick-walled sphere containing a liquid inclusion. An effective model is an elastic homogeneous isotropic sphere. Satisfying the conditions of equivalence and continuity, a regularity is revealed that allows solving direct and inverse problems. In these problems, the elastic parameters of one of the models are expressed in terms of the other. A numerical example of the solution of the inverse problem is given.

Key words: composite, representative volume of material, a simply-connected model of an elastic sphere, a doubly-connected model of a thick-walled sphere, effective deformations, a bulk modulus, a shear modulus.

Ю.Ф. ФИЛИПОВА^{1,2}, инж., С.В. ДОРОНИН², к.т.н., доц., Е.В. МОСКВИЧЕВ^{1,2}, к.т.н. ¹ООО «Диджитал Майд Девелопмент», ²Институт вычислительных технологий СО РАН, Красноярский филиал)**МОДЕЛИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТОКОПРОВОДОВ С ЛИТОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ...18**

Для обеспечения прочности токопроводов с литой изоляцией поставлена задача оценки температурных деформаций секций токопровода. Разработаны численные конечно-элементные модели, учитывающие тепловыделение в шинах токопровода при прохождении электрического тока и конвективный теплообмен изоляции с внешней средой. Получены зависимости деформаций от температуры эксплуатации, положенные в основу базисной модели протяженной трассы токопровода.

Ключевые слова: токопровод, литая изоляция, моделирование, теплообмен, деформация.

UDC 621.315. **Models of temperature deformation of cast-resin insulated busbars.** Filippova Yu.F., Doronin S.V., Moskvichev E.V., JSC «Ddital Mind Development», Institute of

Computational Technologies RAS, Krasnoyarsk, Russia.

To ensure the strength of cast-resin insulated busbars, the task to estimate the temperature deformations of busbar sections was set. The numerical finite-element models have been developed taking into account heating produced by the passage of an electric current through a conductors and the convective heat exchange of the insulation with the environment. The dependencies of deformations on the operating temperature were obtained, which were used to create the beam model of the busbar system.

Key words: busbar systems, cast-resin insulation, modelling, heat transfer, deformation.

А.А. ТРЕЩЕВ, д.т.н., проф., А.В. РОМАШИНА, инж. Тульский государственный университет**НДС ПЛАСТИНЫ ИЗ МАТЕРИАЛА С УСЛОЖНЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ И С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА...24**

Выполнена постановка задачи типа Кирша для пластины с эллиптическим отверстием из ортотропного разнородного материала, адаптированы определяющие соотношения, представленные в работах А.А. Трещева [1—3] для данного класса задач. Приведен вывод разрешающих уравнений. На основе построенной модели с использованием метода конечных элементов решена конкретная задача. Представлены наиболее характерные данные по исследованию НДС пластины и выполнен анализ результатов расчета.

Ключевые слова: эллиптическое отверстие, одноосное растяжение, плоское напряженное состояние, ортотропный разнородный материал, концентрация напряжений.

UDC 539.319:539.219.2. **The stress-strain state of the plate made of material with complicated properties with stress concentrator of elliptic type.** Treschev A.A., Romashina A.V., Tula State University, Russia.

In the article, raising the solution of the task like the Kirsch's problem is produced for the plate with elliptical hole made of orthotropic material with multimodulus behavior. The defining relations submitted in the monograph of A.A. reschev [1-3] are adapted for this class of problems. The article contains the conclusion of resolving equations. The concrete problem was decided on the basis of the built model with the use of method of finite elements. The article presents the most characteristic data research stress-strain state of plates and the analysis of calculation results is executed.

Key words: elliptical hole, uniaxial stretching, flat stress state, orthotropic different resistant material, stress concentration.

Н.Ю. ЦЫБИН, инж., В.И. АНДРЕЕВ, д.т.н., Р.А. ТУРУСОВ, др.физ.мат.наук НИУ МГСУ, г. Москва**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЗУЩЕСТИ ПОЛИМЕРОВ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ...30**

Для жестких полимеров деформации представляют собой сумму упругих и высокоэластических деформаций. В статье сравниваются деформации полимерной прослойки слоистого композита прямоугольного сечения и свободного призматического полимерного стержня, выполненного из того же материала, что и слой адгезива, при растяжении распределенной нагрузкой. Взаимодействие слоев полимерного адгезива со слоями субстрата в композите будет осуществляться с помощью контактного слоя, в котором происходит межмолекулярное взаимодействие вещества адгезива с субстратом. Предполагается, что контактный слой является анизотропной средой, представляющей массив коротких упругих стерженьков — связей, не контактирующих между собой. Так как в композите возникает неоднородное трехосное напряженно-деформированное состояние, то величины деформаций полимерной прослойки, при одинаковых условиях нагружения, должны отличаться от аналогичных деформаций в свободном призматическом полимерном стержне, который находится в одноосном напряженно-деформированном состоянии. В данной работе показано, что адгезионное взаимодействие полимера с упругим жестким субстратом существенно затрудняет релаксационные процессы в полимерной прослойке.

Ключевые слова: слоистый композит, полимерный стержень, упругость, ползучесть, контактный слой, деформации, адгезив, субстрат, адгезионное взаимодействие.

UDC 624.016. **Study of polymers creep in various conditions of deformation.** Tsybin N.Yu., Andreev V.I., Turusov R.A., Moscow University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

For rigid polymers, deformations are the sum of elastic and highly elastic deformations. The article compares the deformations of a polymeric layer of a layered composite of rectangular cross-section and a free prismatic polymer rod made of the same material as the adhesive layer when stretched by a distributed load. The interaction of the layers of the polymer adhesive with the layers of the substrate in the composite will be realized by means of a contact layer in which the intermolecular interaction of the adhesive substance with the substrate takes place. It is assumed that the contact layer is an anisotropic medium representing an array of short elastic rods-bonds that do not contact each other. Since an inhomogeneous triaxial stress-strain state arises in the composite, the values of deformations of the polymer layer, under identical loading conditions, should differ from analogous deformations in a free prismatic polymer rod that is in a uniaxial stress-strain state. In this paper, it is shown that the adhesive interaction of a polymer with an elastic rigid substrate substantially complicates the relaxation processes in the polymer interlayer.

Key words: layered composite, polymer rod, elasticity, creep, contact layer, deformation, adhesive, substrate, adhesion interaction.

Расчёты на устойчивость

И.И. ВЕДЯКОВ, д.т.н., проф., А.В. ПОТАПОВ, к.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г.Москва

КО ВОПРОСУ О РАСЧЕТАХ НА УСТОЙЧИВОСТИ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ...36

Статья посвящена численному исследованию и совершенствованию методов расчета на устойчивость стальных стержней открытого профиля, массово применяемых в строительстве. Численные исследования проводились с учетом действительной диаграммы работы стали «напряжение – деформация» с различными эксцентриситетами. На основании теоретических исследований разработан алгоритм расчета на устойчивость стальных стержней открытого профиля с различными типами поперечных сечений. Для изыскания резервов несущей способности сжатых стержней и совершенствования методов расчета на устойчивость учитывается их работа за пределом упругости (упругопластическая стадия работы). Представлены результаты численных исследований на примере стержней швеллерного сечения и сравнение полученных данных с расчетами, проведенными по действующим нормам проектирования.

Ключевые слова: устойчивость, метод расчета, численные исследования, эксцентриситет, стальные конструкции.

UDC 624.01.7. **The calculations on the stability of steel rods of open profile.** Vedyakov I.I., Potapov A.V., JSC «Research centre «Construction» (TSNIISK named after V.A.Kucherenko), Moscow, Russia.

The article is devoted to the numerical study and improvement of methods for calculating the stability of steel rods of open profile widely used in construction. Numerical studies were carried out taking into account the actual diagram of steel performance «stress – strain» with different eccentricities. On the basis of theoretical researches the algorithm of stability calculation of steel rods of an open profile with various types of cross sections is developed. To find the load-bearing capacity reserves of compressed rods and to improve the stability calculation methods their work beyond the elastic limit (elastic-plastic stage of work) is to be taken into account. The results of numerical studies with the example of channel cross-section rods and the comparison of the data obtained with the calculations carried out according to the current design standards are presented.

Key words: stability, method of calculation, numerical analysis, eccentricity, steel construction.

Динамические расчёты

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ФИЗИЧЕСКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИЙ СДВИГА...42

Рассматривается задача построения разрешающих уравнений, характеристик и соотношений на них, а также определение скоростей распространения геометрически и физически нелинейных цилиндрических волн деформаций сдвига слабого разрыва в сплошных средах, механическое поведение которых описывается произвольными перекрестными зависимостями между первыми инвариантами тензоров и вторыми инвариантами девиаторов обобщенных напряжений и нелинейных деформаций. Отмечено, что система динамических уравнений распадается на два дифференциальных уравнения: первое из них – статическое – описывает распределение тангенциальных перемещений в толще массива при заданных на поверхности цилиндрической полости касательных усилий; второе уравнение – динамическое – описывает распространение волн деформаций сдвига. Анализ результатов решения задачи показывает, что скорость распространения геометрически и физически нелинейных цилиндрических волн деформаций сдвига определяется не только механическими характеристиками сплошной среды, вводимыми рассматриваемой математической моделью, моделирующей ее механическое поведение, но также и характером распределения перемещений в толще сплошного массива. Таким образом, решая статическое уравнение равновесия можно найти функцию сдвиговых перемещений в зависимости от текущего радиуса рассматриваемой точки массива, а затем в каждой точке сплошного массива вычислить скорость распространения волны деформаций сдвига.

Ключевые слова: волны деформаций сдвига, физическая и геометрическая нелинейность, характеристики, скорость распространения волны.

UDC 534.12. **Physically and geometrically nonlinear cylindrical waves of deformations shift.** Bakushev S.V., Penza State University of Architecture and Construction, Russia.

Under analysis there is the problem of construction of resolving equations, dimensions and relations within them; and also propagation speed calculation of geometrically and physically nonlinear cylindrical waves of deformation shift of weak discontinuity in continuous medium, which mechanics is being described by arbitrary cross relations between the first tensor invariants and the second deviator invariants of generalized strains and nonlinear deformations. It is stated that the system of dynamic equations falls into two differential equations: the first one is static, it describes tangential displacement pattern in strata at given tangential force on the cylindrical surface; the second equation is dynamic and it describes deformations shift waves propagation. Problem solving analysis shows that the propagation speed of geometrically and physically nonlinear cylindrical waves of deformations shift is determined by not only mechanical dimensions of continuous medium, introduced by mathematical model under study, modeling its mechanics, but also by displacement distribution pattern in strata. Therefore, solving static equation of equilibrium we can determine the function of shift displacement, depending on the reference radius of the point under analysis and then we can calculate the speed of deformations shift wave propagation in every point of strata.

Key words: deformations shift waves, physical and geometrical nonlinearity, dimensions, speed of wave propagation.

С.Н. ЦАРЕНКО к.т.н., доц. Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, Украина

ДИНАМИКА ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ С ОСЕВОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК...48

Рассмотрена задача поперечных колебаний конструкций стержневидной формы при динамических воздействиях. В качестве модели принимается упругий стержень с осевой неоднородностью геометрических свойств поперечного сечения. Учитывается переменная изгибная жесткость и линейная плотность для случая, когда их отношение выражается квадратичной зависимостью от безразмерного радиуса инерции поперечного сечения. Математическая модель динамического деформирования представлена дифференциальным уравнением четвертого порядка в частных производных. Решение уравнения получено методом Фурье в функциях Бесселя. Для упрощения решения граничных задач введены специальные функции, построенные на основе рекуррентных соотношений для функций Бесселя. Уравнения деформаций и внутренних силовых факторов представлены с использованием метода начальных параметров. В качестве примера рассмотрены изгибные колебания и динамические нагрузки в упругих стержнях, моделирующих конструкций несущих опор в виде решетчатых башен и пустотелых конических стоек. Исследовано влияние геометрических параметров моделей на значение первой собственной частоты и выполнено сравнение с известными в литературе результатами. Получены выражения для динамических коэффициентов для случая вынужденных колебаний от внезапного приложения силы, при учете наличия локальной инерционной нагрузки.

Ключевые слова: стержень переменного сечения, изгибные колебания, метод Фурье, динамический коэффициент, функции Бесселя.

UDC 539.4:534.1. **Dynamics of flexural vibrations of structures with axial inhomogeneity of geometric properties.** Tsarenko S.N., Donetsk National Technical University, Ukraine

The problem of the flexural vibrations of structures under dynamic impacts considered. The variable bending stiffness and the distribution mass are taken into account for the case when their ratio is expressed by a quadratic dependence on the dimensionless radius of inertia the cross-section. The equations of deformation and interior force factors are presented with specific functions constructed on the basis recurrence dependences for the Bessel functions. For example, the bending vibrations and dynamic loads in the elastic rods modeling the metal structures are considered. Effect of parameters in the models on the value of the first natural frequency considering the availability of inertial load is investigated. The expression for dynamic coefficients of the sudden load is applied are obtained.

Key words: rod of variable-section, flexural vibrations, Fourier method, dynamic coefficient, Bessel functions.

Численные методы

Е.И. БРИТВИН¹, канд. физ.мат.наук, А. ПЕЙСИН², инж., М. ЭЙСЕНБЕРГЕР², др. философии, проф. (1ГУВЗ ПГАСА, г.Днепропетровск, Украина, 2Израильский технологический институт «Технион», Хайфа, Израиль)

ДЕФОРМИРУЕМЫЙ В СВОЕЙ ПЛОСКОСТИ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНЫЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ В УЗЛАХ ЧАСТЬ 1. ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ...54

На основе стандартного решения для прямоугольного конечного элемента третьего порядка с поступательными степенями свободы (деформация в плоскости), выведены функции формы четырехузловой прямоугольного конечного элемента с вращательными степенями свободы в узлах (две поступательные плюс поворот в плоскости элемента). Поступательные перемещения узлов на сторонах базового элемента естественным образом выражены через степени свободы узлов, расположенных в вершинах прямоугольника. Матрица жесткости элемента и вектора грузовых членов представлены в виде суммы табулированных числовых матриц с коэффициентами, зависящими от размеров элемента. Продемонстрирована хорошая сходимость решения, полученного на основе разработанного элемента.

Ключевые слова: конечный элемент, прямоугольный мембранный элемент, четырехугольный конечный элемент, вращательные степени свободы.

UDC 624.044. **Quadrilateral membran finite element with drilling degrees of freedom. Part I. Rectangular element.** Britvin E.I., GUVZ PGAAS, Dnepropetrovsk, Ukraine; Eisenberger M., Peysin A., Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa, Israel.

Based on the standard solution for a third-order rectangular finite element with translational degrees of freedom (in-plane deformation), the functions of the four-node finite element form with rotational degrees of freedom in the node are derived (two translational plus a rotation in the plane of the element). The translational movements of the nodes on the sides of the base element are naturally expressed in terms of the degrees of freedom of the vertices nodes of the rectangle. The stiffness matrix of the element and the load vectors are represented as a sum of tabulated numerical matrices with coefficients depending on the dimensions of the element. A good convergence of the solution obtained on the basis of the developed element is demonstrated.

Key words: structural finite element, rectangular membrane element, drilling degrees of freedom.

Е.В. ПОЗНЯК, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, г. Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА. ЧАСТЬ 1. ИНТЕГРАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ...63

Обобщенный линейно-спектральный метод (ЛСМ) – расширение традиционного спектрального подхода на задачи с недиагональными матрицами инерции, с угловыми степенями свободы, с наличием ротационного движения грунта. В статье представлен анализ динамической реакции плоской сдвигово-поворотной модели двухэтажного здания, выполненный с применением обобщенного ЛСМ. При расчетах вектор сейсмического воздействия включал ускорения вертикального, горизонтального и ротационного движения грунтового основания.

Ключевые слова: линейно-спектральный метод, модальный анализ, расчет на сейсмостойкость, сейсмические ротации, модальная динамическая реакция.

UDC 624.042.7. **Application of the generalized Response Spectrum Method. Part I. Integrated seismic effect.** Poznyak E.V., Moscow Power Engineering University, Russia.

The generalized Response Spectrum Method (RSM) is an extension of the traditional spectral approach to analyses that considers nondiagonal inertia matrices, rotational degrees of freedom, rotational ground motion. The paper presents a dynamic analysis of a plane shear-rotary model of two-story building, performed with the use of the generalized RSM. In calculations, the vector of seismic action included accelerations of vertical, horizontal and rotational ground motions.

Key words: Response spectrum method; modal analysis; structural earthquake engineering; seismic rotations; modal dynamic response.

Экспериментальные исследования

В.О. СТОЯНОВ, инж., А.А. ПОГОРЕЛЬЦЕВ, к.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛКИ, АРМИРОВАННОЙ ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИТАМИ НА УЧАСТКАХ С МАКСИМАЛЬНЫМИ НОРМАЛЬНЫМИ И КАСАТЕЛЬНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ...70

Отечественные и зарубежные исследования в области армирования деревянных конструкций полимерными композитными материалами свидетельствуют о высокой эффективности данного метода усиления. Однако, высокая стоимость композитов на основе углеволокна существенно ограничивает их применение в строительстве, а в области деревянного строительства углепластики и вовсе не находят применения. В статье приведены результаты численных и экспериментальных исследований балки, армированной углепластиковыми ламелями в зонах с максимальными нормальными напряжениями и стеклопластиковыми стержнями в зонах с максимальными касательными. Такое усиление позволяет добиться эффективного использования армирующего материала, повысить прочность балки на 32% и снизить расходы на материалы более чем на 40%.

Ключевые слова: углепластик, стеклопластик, усиление, армирование, деревянная балка, реконструкция.

UDC 691.17, 694.143, 69.003.13. **Investigations of a beam reinforced with polymeric composites in sections with maximum normal and tangential stresses.** Stoianov V.O., Pogoreltsev A.A., JSC «Research centre «Construction» (TSNIISK named after V.A. Kucherenko), Moscow, Russia.

Domestic and foreign research in the field of reinforcement of wooden structures with FRP materials attest to the high effectiveness of this method of strengthening. The high cost of composites based on carbon fiber significantly limits their use in construction, and in the field of wood construction, carbon plastics are not used at all. The article presents the results of numerical and experimental studies of a beam reinforced with carbon fiber lamellas in zones with maximum normal stresses and fiberglass rods in zones with maximal tangents. This reinforcement makes it possible to achieve effective use of the reinforcing material, to increase the strength of the beam by 32 % and to reduce material costs by more than 40 %.

Key words: CFRP, GFRP, reinforcement, strengthening, wooden beam, reconstruction.

№ 4 за 2018 год

Расчёты на прочность

С.В. БОСАКОВ¹, д.т.н., проф., С.И. ЗИНЕВИЧ², к.т.н., доц., О.В. КОЗУНОВА³, к.т.н., доц. ¹РУП «Институт БелНИИС», г.Минск, ²БНТУ, г.Минск, ³БелГУТ, г.Гомель, Беларусь
ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛИТЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ...2

Предложена модель трехслойного основания для расчета дорожных и аэродромных плит. Верхний слой является основанием Винклера и расположен на двухслойном основании Б.И. Когана. Расчет плиты на этой модели упругого основания выполнен способом Б.Н. Жемочкина на нагрузку от центрально приложенного колеса машины. При этом учитывается собственный вес плиты. При определении коэффициентов канонических уравнений способа Б.Н. Жемочкина прогибы плиты с заземленной нормально от действия единичной силы определяются по формуле, ранее полученной одним из авторов. Приводятся графические результаты расчета для осадок прямоугольной плиты и распределения контактных напряжений под плитой.

Ключевые слова: упругое основание, контактная задача, способ Б.Н. Жемочкина, прямоугольная плита.

UDC 624.13. **A model for elastic foundation and its use for the calculation of rectangular plates on elastic base.** Bosakov S.V., Institute BelNIIS, Minsk, Zinevich S.I., BNTU, Minsk, Kozunova O.V., BelGUT, Gomel, Belarus.

The article proposes a model of three-layer foundation for the calculation of road- and airfield slabs. The top layer is the Winkler's foundation and it is located on a two-layer base of B.I. Kogan. The calculation of the plate of this model with elastic foundation is made by B.N. Zhemochkin's method at the load applied from a central wheel of a vehicle under taking into account the own weight of the plate. While determining the coefficients of the canonical equations of B.N. Zhemochkin's method the deflections of a plate with clamped normal from the action of a single force are determined by the formula previously obtained by one of the authors. The graphical results of calculations for upsets of a rectangular plate and the distribution of contact stresses under the plate are presented.

Key words: elastic foundation, contact problem, B.N. Zhemochkin's method, rectangular plate.

А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., проф. Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г.Киев, Украина
О ПРЕДЕЛЬНОМ РАВНОВЕСИИ ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАМ...6

Основой несущей системы многоэтажных жилых, общественных, промышленных зданий чаще всего есть пространственный рамный каркас со взаимно перпендикулярными элементами — стойками и ригелями. В последние десятилетия к традиционной области применения рамных каркасов добавилась новая — реконструкция существующих зданий [1]. Здесь устройство наружного каркаса позволяет увеличить этажность — иногда в 4–5 раз и площадь каждого этажа. Особенность такого конструктивного решения — в расположении колонн, они размещаются только по периметру здания. Проектирование таких внешних каркасов ввиду их необычности нуждается в новых подходах и оценках. Расчет упругих и неупругих рам на действие статических нагрузок — один из наиболее разработанных разделов строительной механики стержневых систем [2]. Вместе с тем практически отсутствуют исследования несущей способности упругопластических и жесткопластических рам методами теории предельного равновесия. Тем временем простота применения кинематического метода и возможность получения оценок предельной нагрузки в замкнутой форме делают такой подход привлекательным и удобным для построения и решения оптимизационных задач на начальных этапах проектирования. Ниже рассмотрены простейшие задачи о предельном равновесии пространственных рам при действии сосредоточенных нагрузок. Набор этих задач охватывает значительную часть ситуаций, которые могут возникнуть в строительном проектировании. Представлены примеры решения однопараметрических и оптимизационных задач.

Ключевые слова: пространственные рамы, несущая способность, теория предельного равновесия, оптимальное проектирование.

UDC 624.04:539.376. **On limit equilibrium of flat and spatial frames.** Dekhtyar' A.S., National Academy of Fine Arts and Architecture, Kiev, Ukraine

The bearing system of modern civil, public and industrial multistory buildings are spatial frame framework with their orthogonal elements – beams and columns. In the last decades to the traditional application domain of frame frameworks was added new one – reconstruction of existent buildings. Here to multiply the existing buildings floor number the outward framework may be applied. In such a way the floor number may be increased – sometimes in 4–5 times — and the area of each floor may be increased too. Feature of such structural decision - location of columns, they arrange on the outer perimeter only of the building. Computation of flat and space frames with action of the static loading is one of the most developed sections of structural mechanics for the rod systems. At the same time investigation of load carrying capacity of ideal rigid – plastic frames are practically absent by the methods of limit equilibrium theory. Meantime the simplicity of kinematics method application and possibility of obtaining of the limit load estimations of the load carrying capacity in the closed form do such approach attractive and comfortable for construction and solving of optimization tasks on the initial stages of planning. The simplest tasks about the limit load of spatial frames at action of point loads are below considered. The set of these tasks includes the big part of situations which can arise up in the build planning. The examples of solutions of one - parametrical and optimization tasks are presented.

Key words: spatial frame, load carrying capacity, limit load theory, optimum planning.

М.Н. КИРСАНОВ, др.физ.мат.наук, проф. В.Г. МОСКВИН, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, г.Москва)

ДЕФОРМАЦИЯ ПЛОСКОЙ ФЕРМЫ С УСИЛЕННОЙ РЕШЕТКОЙ...10

Рассмотрена новая схема статически определенной балочной фермы с параллельными поясами и дополнительными стержнями в решетке. Рассматриваются три вида нагружения — равномерное нагружение узлов нижнего и верхнего поясов, и нагружение сосредоточенной силой в середине пролета. Ставится задача вывода аналитических зависимостей деформации фермы от числа панелей и сравнение по жесткости с фермой без дополнительных стержней. Для определения усилий в элементах используется программа, написанная на языке Maple, основанная на методе вырезания узлов. Деформации в символической форме вычислены по формуле Максвелла – Мора. Вывод аналитических зависимостей прогиба от числа панелей базируется на методе индукции с привлечением операторов символической математики Maple. Коэффициенты зависимостей удовлетворяют однородным рекуррентным уравнениям, из решения которых получают общие члены последовательностей. Замечено, что в задачах с распределенной нагрузкой рекуррентные уравнения имеют более высокий порядок.

Зависимость прогиба от числа панелей при нагружении нижнего пояса обнаруживает скачки, уменьшающиеся с увеличением числа панелей. Для оценки устойчивости и прочности системы выводятся формулы для усилий в наиболее сжатых и растянутых стержнях фермы. Дается асимптотика решений в предположении о постоянстве общей нагрузки и длины пролета.

Полученные решения могут быть использованы как тестовые для расчетов в известных программных комплексах, использующих численные методы.

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

UDC 624.04. **Deformation of flat truss with reinforced lattice.** Kirsanov M.N., Moskvina V.G., Moscow Power Engineering Institute.

Describes a new scheme for statically determinate braced girder with parallel chords and additional rods in the lattice. We consider three types of loading — uniform loading of nodes of the lower and upper belts and the loading of a concentrated force at Midspan. The aim is to derive analytical dependences of the deformation of truss on the number of panels and compare hardness with the truss without additional rods. For determining the forces in elements is used the program written in the Maple language, based on the method of cutting of knots. Deformation in the symbolic form computed by the formula of Maxwell - Mohr. Getting the analytical dependencies of the deflection of panels is based on the method of induction with the involvement of operators of symbol mathematics Maple. The coefficients of the dependences satisfy the homogeneous recurrence equations, solutions of which are obtained the General members of the sequence. It is noted that in problems with distributed load recurrence equations have a higher order. Dependence of the deflection on the number of panels when loading the lower belt reveals jumps that decrease with increasing number of panels. To evaluate the stability and strength of the system, formulas are also derived for the forces in the most compressed and stretched rods of the truss. The asymptotics of the solutions are given under the assumption that the total load and the span length are constant. The obtained solutions can be used as test for calculations in known software using numerical methods.

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

В.А. КОМАРОВ, к.т.н., доц. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА В СЖАТОМ СИЛОВОМ ПОТОКЕ КОРОТКОЙ КОНСОЛИ РИГЕЛЯ С ПОДРЕЗКОЙ...15

Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований сопротивления бетона в сжатом силовом потоке короткой консоли ригелей с подрезкой. Дана качественная и количественная оценка влияния специальной сосредоточенной поперечной арматуры, устанавливаемой за подрезкой на характер образования трещин и схемы разрушения. Рассмотрена стержневая аналоговая модель, наиболее близко отвечающая физической работе, даны рекомендации по расчету прочности бетона в сжатом силовом потоке на основе методик СП 63.13330.2012 и пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения к ранее действующему СНиП 2.03.01-84*.

Ключевые слова: короткая консоль ригеля с подрезкой, сжатый силовой поток, сосредоточенная поперечная арматура, трещины, схемы разрушения, стержневая аналоговая модель.

UDC 624.072.21. **Strength of concrete in a compressed power flow short console of rigel with cutting.** Komarov V.A., Penza State University of Architecture and Construction.

The results of experimental and theoretical studies of the resistance of concrete in a compressed power flow of a short console of runions with undercutting are presented. A qualitative and quantitative assessment of the effect of a special concentrated lateral reinforcement, mounted behind the trimming on the character of crack formation and the failure scheme, is given. The core analog model most closely corresponding to physical work is given. Recommendations are given for calculating the strength of concrete in a compressed power stream on the basis of the techniques of SP 63.13330.2012 and manuals for the design of concrete and reinforced concrete structures, from heavy and lightweight concrete without preliminary stress to the previous SNiP 2.03. 01-84*.

Key words: short bolt console (with undercut), compressed power flow, concentrated transverse reinforcement, cracks, destruction schemes, rod analog model.

А.А. ТРЕЩЁВ, д.т.н., проф., Е.А. ЖУРИН, инж. Тульский государственный университет
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ ОРТОТРОПНОГО РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА ПРИ МАЛЫХ ПРОГИБАХ...19

Рассмотрено построение нелинейной модели деформирования прямоугольной пластины средней толщины, нагруженной поперечно равномерно распределенной нагрузкой.

Нагрузка принята таким образом, чтобы прогибы объекта исследования были малыми (1/10 от толщины). При решении задачи использовалась нелинейная модель А.А. Трещёва.

Закрепление пластинки представлено в двух вариантах: шарнирное опирание и жесткое закрепление по контуру. Исследуемая пластина выполнена из ортотропного разносопротивляющегося материала. Такие материалы обладают ярко выраженной нелинейностью, которая учитывается при расчете. Был разработан и реализован алгоритм решения данного класса задач. Практическое решение производилось с помощью пакета прикладных программ MathLAB. Для вывода и решения системы разрежающих дифференциальных уравнений был применен метод переменных параметров упругости с конечно-разностной аппроксимацией.

Ключевые слова: прямоугольная пластина, жесткое защемление, шарнирное опирание, ортотропный материал, нелинейные характеристики, малые прогибы.

UDC 539.376. **Solving the problems of deformation of a rectangular plate of medium thickness from an orthotropic material of different resistance at small deflections.** Treschev A.A., Zhurin E.A., Tula State University

In this paper, we consider the construction of a nonlinear model of deformation of a straight-coal plate of medium thickness, loaded with a transverse uniform distributed load. The load is taken in such a way that the deflections of the object of investigation are small (1/10 of the thickness). The nonlinear model of AA was used to solve the problem. Trescheva. Fastening the plate in two versions: articulated support and rigid fixing along the contour. The test plate is made of orthotropic material of different resistance. Such materials are awarded in the calculation. Algorithms for solving this class

of problems were designed and implemented. The practical solution was made using the MathLAB software package. For the derivation and solution of a system of resolving differential equations, the variable elasticity method with finite-difference approximation was applied.

Key words: rectangular plate, rigid pinching, hinged support, orthotropic material, nonlinear characteristics, small deflections.

Динамические расчеты

**Г.Г. БУЛЫЧЕВ, д.р.физ.мат.наук, проф. (МИРЭА, г. Москва)
ТРЕХМЕРНАЯ ДИНАМИКА ПОЛУСФЕРЫ...25**

Для расчета напряженно деформированного состояния полусферы при различных динамических нагрузках используется численный метод пространственных характеристик. Для построения кубической пространственной сетки используется многогранная фигура, аппроксимирующая полусферу и состоящая из кубиков. Последнее позволяет для построения алгоритмов использовать характеристические уравнения, записанные в декартовой системе координат. Такой подход решает проблемы, связанные с использованием криволинейной сетки, но требует разработки новых вычислительных схем на границах. С помощью этих и разработанных ранее схем создана программа и проведено моделирование динамики полусферы при двух различных видах нагрузок: вдоль и поперек оси полусферы. С использованием авторской графики построены изолинии напряжений в характерном сечении тела в различные моменты времени. Полученные результаты проанализированы. Даны рекомендации по дальнейшему развитию и применению предлагаемой методики.

Ключевые слова: математическое моделирование, метод пространственных характеристик, динамика сооружений и конструкций, алгоритмы.

UDC 5.393. Three-dimensional dynamics of a hemisphere. Bulychyev G.G., Moscow State Technical University.

In the article for calculation of stress condition of a hemisphere at various dynamic loadings the numerical spatial characteristics method is used. For construction of a cubic spatial grid the many-sided body approximating a hemisphere and consisting of cubes is used. The last allows to use the characteristics for construction of algorithms of equations which have been written down in the Cartesian system of co-ordinates. Such approach solves problems, connected with use of a curvilinear grid, but it demand to develop a new numerical schemes on borders. By means of these and developed earlier schemes the program is created and modelling of dynamics of a hemisphere was conducted at two various kinds of loadings: lengthways and across of the hemisphere's axes. By means of author's graphics the isolines of pressure in representative section of a body are constructed at the two various moments of time. The received results are analysed. Recommendations about the further development and application of an offered technique are made.

Key words: mathematical modelling, a method of spatial characteristics, dynamics of buildings and constructions, algorithms.

**И.И. ВЕДЯКОВ¹, д.т.н., проф., В.К. ВОСТРОВ² д.т.н. ¹ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ²ООО «Кимрское объединение ВНИИМорнефтегаз»
АВАРИЙНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СИТУАЦИИ И АВАРИЙНЫЕ ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ...31**

Приведен краткий анализ ветровых нагрузок и воздействий на здания и сооружения строительного комплекса и соответствующих нормативных документов касающихся аварийных ситуаций порождаемых ветровыми воздействиями. Предложено определения аварийных ветровых нагрузок и воздействий отсутствующих в актуализируемой и вновь вводимой системе нормативных документов в строительстве.

Ключевые слова: аварийные ситуации, ветровые нагрузки, аварии, ошибки проектирования, безопасность, динамические системы, самовозбуждающиеся колебания, параметрические колебания, аварийные воздействия, равновесия, устойчивость равновесия, устойчивость колебаний.

UDC 624.01.42. **Emergency design situations and emergency wind effects.** Vedyakov I.I., Reserch Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Kucherenko, Vostrov V.K., JSC «Kimry Association VNIPIMorneftegaz», Moscow.

The brief analysis of wind loads and impacts on buildings and structures of the construction complex and the relevant regulations concerning emergency situations generated by wind impacts is given. The definitions of emergency wind loads and the impacts not included into the actualized and newly introduced system of construction normative documents are proposed.

Key words: emergency situations, wind loads, accidents, design errors, safety, dynamic systems, self-excited oscillations, parametric oscillations, emergency impacts, stability of equilibrium, stability of oscillations.

И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. (РУТ МИИТ, г. Москва)

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СКОРОСТНЫХ СОСТАВОВ И ДВУХПУТНЫХ БАЛОЧНЫХ МОСТОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ. Часть 1. ДЕЙСТВИЕ НА МОСТ СЕЙСМИЧЕСКИХ И ПОДВИЖНЫХ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК...41

В первой части статьи предлагается численный метод исследования колебаний двухпутных пролетных строений мостов на ВСМ, моделируемых тонкостенными стержнями с открытыми или замкнутыми (с ответвлениями) профилями, при действии на мостовые сооружения движущейся системы сил и боковых сейсмических воздействий, заданных акселерограммами. Для исследований используются, предложенные ранее автором, шаговая процедура для решения задач динамики и метод учета действия подвижных силовых нагрузок на строительные конструкции. Пролетное строение рассматривается как суперэлемент при аппроксимации смещений линейными и тригонометрическими функциями, учитывается горизонтальная и вертикальная динамика пролетного строения при действии на мост силовой нагрузки. Связь между крутильными и поперечными колебаниями пролетного строения, вызванная эксцентриситетом приложения подвижной нагрузки, дополняется взаимосвязанностью указанных колебаний, вызванных несовпадением центра тяжести и центра изгиба поперечного сечения пролетного строения. Выбранная постановка задачи является подготовительной ступенью для решения проблемы при учете действия на пролетное строение инерционной нагрузки.

Ключевые слова: колебания мостов, тонкостенные стержни с открытым и замкнутыми профилями, шаговые процедуры, силовая подвижная нагрузка, сейсмические воздействия, акселерограммы.

UDC 624.07.534.1. **A method of studying the interaction between high-speed trains and double-track girder bridges under seismic loads. Part 1. Impacts of seismic and moving power loads at a bridge.** Ivanchenko I.I., Russian University of Transport, Moscow.

In the first part of the article, a numerical method is proposed to study the oscillations of double-track span structures of bridges on the high-speed rail modeled by thin-walled rods with open or closed (with branches) profiles under the action of a moving system of forces and side seismic effects on the bridge structures specified by accelerograms. The step procedure for solving the problems of dynamics and the method of taking into account the action of moving power loads on building structures proposed earlier by the author are used for the research. The superstructure is considered as a superelement at the approximation of displacements of the linear and trigonometric functions. The horizontal and vertical dynamics of the superstructure under the action of the bridge weight loads are taken into account. The relationship between the torsional and transverse oscillations of the superstructure caused by the eccentricity of the application of the moving load is supplemented by the interconnection of these oscillations caused by the mismatch of the center of gravity and the center of bending of the cross section of the superstructure. The chosen formulation of the problem is a preparatory step to solve the problem when taking into account the action on the superstructure of the inertial load.

Key words: bridge oscillations, thin-walled rods with open and closed profiles, step procedures, power moving load, seismic effects, accelerograms.

Численные методы

Е.И. БРИТВИН¹, канд.физ.мат.наук, А. ПЕЙСИН², инж., М. ЭЙСЕНБЕРГЕР², др.философии, проф. (ГУВЗ ПГАСА, г.Днепропетровск, Украина, ²Израильский технологический институт «Технион», Хайфа, Израиль)

ДЕФОРМИРУЕМЫЙ В СВОЕЙ ПЛОСКОСТИ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНЫЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ В УЗЛАХ ЧАСТЬ 2. ПРОИЗВОЛЬНЫЙ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИК...50

На основе стандартного решения для произвольного четырехугольного конечного элемента третьего порядка с поступательными степенями свободы (деформация в плоскости) выведены функции формы произвольного четырехугольного конечного элемента с вращательными степенями свободы в узле (две поступательные плюс поворот в плоскости элемента). Поступательные перемещения узлов на сторонах базового элемента естественным образом выражены через степени свободы узлов, расположенных в вершинах четырехугольника. Матрица жесткости элемента формируются посредством стандартной процедуры численного интегрирования. Показано, что новый элемент удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к конечному элементу (движение твердого тела, patch-тест). Продемонстрирована хорошая сходимости решения, полученного на основе разработанного элемента.

Ключевые слова: конечный элемент, четырехугольный мембранный элемент, вращательные степени свободы.

UDC 539.3. **Quadrilateral membran finite element with drilling degrees of freedom. Part 1. Arbitrary quadrilateral.** Britvin E.I., GUVZ PGASA, Ukraine, Paysin A., Eisenberger M., Israel Technological Institute «Technion», Israel.

Based on the standard solution for an arbitrary quadrangular finite element of the third order with translational degrees of freedom (in-plane deformation), the form functions of an arbitrary four-node finite element with rotational degrees of freedom at the node (two translational plus rotation in the plane of the element) are derived. The translational movements of the nodes on the sides of the base element are naturally expressed in terms of the degrees of freedom of the vertices nodes of the quadrilateral. The element stiffness matrix is formed by means of a standard procedure of numerical integration. It is shown that the new element satisfies all the requirements imposed on the finite element (solid motion, patch test). A good convergence of the solution obtained on the basis of the developed element is demonstrated.

Key words: structural finite element, quadrangular membrane element, drilling degrees of freedom

**С.Н. НАЗАРЕНКО¹, к.т.н., доц., Н.С. БЛОХИНА², к.т.н., доц. ¹РУТ МИИТ, ²НИУ МГСУ, г. Москва
КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ РАСЧЕТА СКЛАДЧАТЫХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ И ОБОЛОЧЕК...55**

Разработан плоский прямоугольный конечный элемент оболочки с шестью степенями свободы в узле для моделирования призматических тонкостенных конструкций, имеющих значительную протяженность по сравнению с размерами поперечного сечения. Приведены результаты тестирования мембранной части разработанного элемента с тремя степенями свободы в узле, имеющего аналогию с теорией расчета стержней. Количество разработанных конечных элементов, необходимое для достижения приемлемой точности расчета удлиненных пластин, может быть на порядок меньше по сравнению с обычными элементами балки-стенки. Даны алгебраические выражения предлагаемых для изгибающей части конечного элемента оболочки функций форм перемещений, также использующих аналогию с изгибом стержней. Приведены расчетные формулы для формирования матрицы реакций.

Ключевые слова: тонкостенная призматическая оболочка, тонкостенный стержень, прямоугольный элемент, соотношение размеров, формы перемещений.

UDC 539.3. **Finite element for calculation of fold prismatic thin-walled rods and shells.** Nazarenko S.N., Russian University of Transport, Blokhina N.S., Moscow State University of Civil Engineering

A rectangular shell finite element with six degrees of freedom in the node is developed for modeling prismatic thin-walled structures having a significant length in comparison with the cross-sectional dimensions. This paper presents results of testing the membrane part of the developed element with six degrees of freedom in the node, which has an analogy with the theory of calculation of beams. The number of developed finite elements required to achieve acceptable accuracy in the calculation of elongated plates can be an order of magnitude smaller than conventional beam-wall elements. Algebraic expressions of the functions of displacement forms are given for the bending part of the shell finite element, also using the analogy with the bending of rods. Calculation formulas for the formation of the reaction matrix are given.

Key words: thin-walled prismatic shell, thin-walled rod, rectangular element, size ratio, displacement forms.

Сейсмические расчеты

Е.В. ПОЗНЯК, к.т.н., доц. (НИУ МЭИ, г. Москва)

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА. Часть 2. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ...61

Дифференцированная модель сейсмического воздействия применяется при расчетах конструкций на дискретных опорах, на податливых фундаментах, при условии, что в спектре воздействия преобладают волны с длинами порядка размеров фундамента. Представлена краткая теория линейно-спектрального метода, обобщенного на случай дифференцированного воздействия, приведен пример расчета для плоской модели двухэтажного здания.

Ключевые слова: линейно-спектральный метод, дифференцированное движение грунта, модальный анализ, расчет на сейсмостойкость, сейсмические ротации, модальная динамическая реакция.

UDC 624.042.7. **Application of the generalized Response Spectrum Method. Part 2. Differential seismic effect.** Poznyak E.V., Moscow Power Engineering Institute, Moscow

Differential model of seismic ground motion is applied for structural earthquake engineering of structures on discrete supports, on compliant foundations, if waves with about the same lengths as the size of the Foundation dominate in the seismic waves spectrum. This paper presents a brief theory of the Response Spectrum Method generalized to the case of differential seismic ground motions and shows an example of seismic analysis of the planar two-story building model.

Key words: response spectrum method, differential ground motion; modal analysis, structural earthquake engineering, seismic rotations, modal dynamic response.

[В помощь проектировщику](#)

М.К. ИЩУК, к.т.н., зав.лабораторией ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»)), г. Москва
ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА МНОГОСЛОЙНЫХ СТЕН С ЖЕСТКИМИ СВЯЗЯМИ...69

Разработан алгоритм расчета и выполнены расчеты МКЭ пространственных фрагментов двух и трехслойных наружных стен из каменной кладки с соединением слоев жесткими связями с учетом этапности возведения, ползучести и старения кладки, а также на температурные воздействия. Выполнена оценка влияния размеров конечных элементов на НДС, получены коэффициенты концентрации касательных напряжений, действующих в стенах перекрытий. Показано, что действующие в связях между слоями касательные напряжения на момент окончания кладки верхнего этажа там практически отсутствуют. К этому времени наибольшие величины касательных напряжений развиваются в уровне нижних этажей. С момента окончания строительства в нижних этажах касательные напряжения за счет ползучести кладки возрастают еще до 17 %. Полученные результаты хорошо согласуются с данными натурных наблюдений.

Ключевые слова: многослойные стены с жесткими связями, лицевой слой из кирпичной и каменной кладки, исследование МКЭ НДС кладки, этапность возведения, ползучесть и старение кладки, температурно-влажностные деформации, методы расчета многослойных стен.

UDC 69.04. **Features of calculation of multilayer walls with rigid ties.** Ishchuk M.K. Reserch Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Kucherenko, Moscow.

An algorithm for calculating and calculating the FEM of fragments of two and three-layer outer walls made of masonry with the connection of layers by rigid ties, taking into account the stage of erection, creep and aging of the masonry, as well as the temperature effects are developed. The effect of finite element sizes on VAT was assessed, and the tangential stress concentration coefficients acting in bonds in the level of support on the walls of slabs were obtained. The shear stresses acting in the connections between the layers at the time of the end of the masonry of the upper floor are practically absent there. By this time the greatest values of shear stresses develop in the level of the lower floors. Since the end of construction in the lower floors of the shear stress due to creep masonry grow up to 17 %. The results obtained are in good correspondence with the data of field observations

Key words: multilayered walls with rigid ties, face layer of brick and stone masonry, investigation of MKE VAT masonry, stage of erection, creep and aging of masonry, temperature and humidity deformations.

№ 5 за 2018год

[Расчёты на прочность](#)

Д.В. КОНИН, к.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (НИЦ «Строительство»)), г. Москва
ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ДВУТАВРОВ ДЛЯ КОЛОНН МНОГОЭТАЖНЫХ И ВЫСОТЫХ ЗДАНИЙ И ЭЛЕМЕНТОВ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...2

Анализируется отечественный и зарубежный сортамент горячекатаных профилей. Приводятся основные принципы формообразования двутавров с параллельными полками для стальных конструкций. Показаны основные подходы, принятые при создании новых профилей горячекатаных двутавров для конструкций колонн и поясов ферм. Рассмотрены конструктивные параметры и ограничения, принятые во внимание при формировании новых сечений. Доказана эффективность нового сортамента и приведены данные по фактическому освоению новых профилей и сталей металлургическими предприятиями.

Ключевые слова: фасонный прокат, двутавр, параллельные полки, сортамент, сечение, гибкость стенки, тонкостенность, колонна, пояс, ферма, внецентренное сжатие, градация, свес полки, сталь, устойчивость.

UDC 624.014. **I-beams for columns of multi-storey and high-rise buildings and elements of large-span structures.** Konin D.V., Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Kucherenko, Moscow.

The domestic and foreign assortment of hot-rolled profiles is analyzed. The basic principles of forming I-beams with parallel flanges for steel structures are given. The main approaches adopted in the creation of new profiles of hot-rolled I-beams for the structures of columns and truss belts are shown. The design parameters and limitations taken into account in the formation of new sections are considered. The efficiency of the new assortment is proved and the data on the actual development of new profiles and steels by metallurgical enterprises are presented.

Key words: shaped rolled, I-beam, parallel flanges, assortment, cross section, wall flexibility, thinness, column, belt, truss, eccentric compression, gradation, overhang of the flange, steel, stability.

М.П. СОН, к.т.н., доц. Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ФЛАНЦА НА НДС И РАБОТУ ФЛАНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ В УЗЛАХ БАЛКА-КОЛОННА...11

Представлен цикл экспериментальных исследований, выполненных на полномасштабных натурных моделях фланцевых соединений. Испытания проводятся до разрушения моделей.

Соединения выполнены без дополнительных конструктивных элементов таких, как ребра жесткости, вуты, обратные фланцы и пр. Представлены узлы с двусторонним примыканием балок с толщинами фланцев 16—30 мм. Для характерных точек моделей показаны графики сила перемещение и сила – деформация, по которым видно, что увеличение толщины фланца приводит к увеличению прочности, но снижению деформативности соединения. Анализируются сценарии разрушения моделей, и приводится формула для подбора толщины фланца.

Ключевые слова: фланец, металлический узел балка-колонна, болтовые соединения, натурные испытания.

UDC 624.04; 624.014. **Influence of the flange thickness for stress-strain state and the behaviour of the flange connection in the units of the beam-to-column.** Son M.P., Perm national research Polytechnic University.

The article describes series of experimental studies performed on full-scale models of flange connections. Tests are conducted until complete destruction of the models. Connections are made without additional structural elements such as stiffeners, haunches, backing flanges, etc. Knots with two-sided joining of beams with flange thicknesses of 16-30 mm are presented. For the characteristic points of the models, the force-displacement and force-strain diagrams are given, which show that an increase in the flange thickness leads to an increase in strength and simultaneously leads to a decrease in the deformation of the joint. The scenarios for the destruction of models are analyzed, and a formula is given for selecting the thickness of the flange.

Key words: flange, beam-to-column steel joint, bolted connections, full-scale tests.

[Нелинейные расчёты](#)

С.В. БОСАКОВ¹, д.т.н., проф., П.Д. СКАЧЁК², инж. ¹Институт БелНИИС, ²Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РИТЦА ПРИ РАСЧЕТАХ ТРЕУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН С РАЗЛИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВИЕ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ...17

Рассмотрено применение метода Ритца для определения напряженно-деформированного состояния различно-опертых тонких треугольных пластинок, находящихся под воздействием статической нагрузки. Для реализации данного метода приняты соответствующие функции прогибов, выраженные через координатные функции, которые удовлетворяют граничным условиям пластин. Показан алгоритм решения данной задачи с отражением необходимых формул и зависимостей. Для пластин с шарниро-опертыми по всему контуру граниями получено замкнутое решение, аналогичное решению Навье для прямоугольных пластин. Полученное решение обладает быстрой сходимостью по прогибам и не зависит от коэффициента Пуассона материала пластины. Приведены примеры расчета для каждого условия закрепления пластин.

Ключевые слова: метод Ритца, статическая нагрузка, треугольная пластина, решение Навье.

UDC 539.3. **Application of Ritz's method in calculations of triangular plates with various conditions of fixing on static load action.** Bosakov S.V., Institute BelNIIS; Skachok P.D., BNTU, Minsk, Belarus.

The application of the Ritz's method for determining the stress-strain state of variously-supported thin triangular plates under the influence of a static load is considered in the article. To implement this method, the corresponding deflection functions, expressed through coordinate functions, that satisfy the boundary conditions of the plates are adopted. An algorithm for solving this problem is shown with the reflection of necessary formulas and dependencies. For plates with hinged edges around the contour, a closed solution is obtained, analogous to the Navier solution for rectangular plates. The solution obtained has fast convergence in the deflections and does not depend on the Poisson's ratio of the material of the plate. Examples of calculation for each plate support are given.

Key words: Ritz's method, triangular plate, static load, Navier solution.

Т.А. МУХАМЕДИЕВ, д.т.н. НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (НИЦ «Строительство»)

УЧЕТ НЕУПРУГИХ СВОЙСТВ БЕТОНА ПРИ РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН...24

Рассмотрены вопросы нормирования диаграмм деформирования бетона при осевом растяжении для высокопрочных бетонов и упрощенный способ определения упругопластического момента сопротивления для растянутой грани сечения элементов. Приведены результаты численных исследований по оценке коэффициента, учитывающего неупругие свойства бетона растянутой зоны сечения элементов из бетона различных классов. Представлены предложения по нормированию относительных деформаций в базовой точке двуклинейной диаграммы бетона при осевом растяжении, используемой для расчета железобетонных элементов по второй группе предельных состояний. Даны рекомендации по назначению коэффициента, учитывающего неупругие свойства бетона растянутой зоны сечения элементов при расчете момента образования трещины упрощенным способом.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, методы расчета, момент образования трещин, свойства бетона.

UDC 666.972:691.620.192. **Account inelastic properties of concrete when calculating concrete structures for cracking.** Mukhamediev T.A., NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow

Key words: reinforced concrete structures, methods of calculation, the moment of cracking, concrete properties.

[Сейсмические расчёты](#)

А.Г. ТЯПИН, д.т.н. АО «Атомэнергопроект», г. Москва

ВЛИЯНИЕ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБОГО ГРУНТА ПОД ФУНДАМЕНТОМ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ СООРУЖЕНИЯ. Часть IV. ВЛИЯНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ГРУНТОВОЙ ПОДУШКИ...30

При возведении ответственных сооружений на слабых грунтах приходится применять укрепление грунтов с целью контроля осадок и кренов фундаментов. Но создание укрепленной «грунтовой подушки» под фундаментом, как выясняется, иногда способно заметно снизить сейсмическую реакцию сооружения. Ранее этот эффект был продемонстрирован автором на конкретном примере из практики. Позже была показана ведущая роль кинематического взаимодействия сооружения с основанием в рассматриваемом эффекте. В настоящей статье обсуждается влияние снижения жесткости материала «грунтовой подушки» на сейсмозащитный эффект. Такое исследование требуется, чтобы оценить допустимые пределы неизбежного разброса свойств укрепленного грунта. Показано, что снижение жесткости ведет к увеличению горизонтальной реакции невесомого жесткого фундамента и одновременно к некоторому уменьшению его качания. Что касается реакции фундамента под сооружением, то легкое сооружение не способно существенно изменить колебания своего фундамента по сравнению с колебаниями невесомого фундамента, так что эффект останется прежним. Тяжелое же сооружение способно поменять эффект от смягчения укрепленного грунта для качания на противоположный. В этом случае смягчение укрепленного грунта приведет к снижению сейсмозащитного эффекта и для горизонтальных, и для качательных колебаний фундамента.

Ключевые слова: сейсмические воздействия, взаимодействие сооружения с грунтовым основанием, укрепление грунта под фундаментом.

UDC 539.3. **Impact of the soil upgrade on the structural seismic response. Part IV: Effect of decrease in stiffness of the soil pillow.** Tyapin A.G., Architecture and Construction Design Bureau, Moscow

In cases of weak soils under the base mat one has to upgrade soils in order to control settlements of the foundation. However, it turns out that the upgraded "soil pillow" under the base mat is sometimes capable of decreasing seismic response of a structure. Recently this effect has been demonstrated by the author for a practical case. Later the author demonstrated crucial role of the kinematical interaction in the considered effect. In this paper the effect of the decrease in the material stiffness of the "soil pillow" is discussed. Such a survey helps to estimate the acceptable limits of inevitable deviations in the properties of the upgraded soil. It is shown that the decrease in the upgraded soil stiffness leads to the increase of the horizontal response of the weightless basement and at the same time to a certain decrease in rocking response of the weightless basement. As to the response of the basement under the structure, the light structure is not able to change the response of the basement significantly as compared to the response of the weightless basement – so the effect stays in place. However, heavy structure can change this effect. In this case the reduction of the seismic protection due to the softening of the «soil pillow» will refer both to the horizontal and to the rocking response of the basement.

Key words: seismic excitation, soil-structure interaction, upgrade of soil under the base mat.

Динамические расчёты

И.И. ВЕДЯКОВ¹, д.т.н., проф., В.К. ВОСТРОВ², д.т.н. ¹ЦНИИСК им. Кучеренко (НИЦ «Строительство»), ²Кимрское объединение ВНИИМорнефтегаз **ОСОБЫЕ ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И АКТУАЛИЗАЦИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ...38**

Приводится краткий анализ системы нормативных документов в строительстве касающихся аварийных ситуаций порождаемых ветровыми воздействиями. Предлагаются определения аварийных ветровых нагрузок и воздействий отсутствующих в актуализируемой и вновь вводимой системе нормативных документов. Показывается, что произошедшие за последние десятилетия крупные аварии и разрушения по причине ошибочных положений и недостатков при актуализации и пересмотре ряда нормативных документов в строительстве, основанных на отсутствии в них положений и требований по учету аварийных расчетных ситуаций требуемых Федеральным законом №384-ФЗ.

Ключевые слова: аварийные ситуации, ветровые нагрузки, аварии, ошибки проектирования, безопасность, динамические системы, самовозбуждающиеся колебания, параметрические колебания, аварийные воздействия, строительные нормы, строительные нормы, устойчивость равновесия, устойчивость колебаний.

UDC 624.01.42. **Special wind impacts and updating of regulatory documents in construction.** Vedyakov I.I., Reserch Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Kucherenko; Vostrov V.K., JSC «Kimry Association VNIPIMorneftegaz», Moscow

Key words: emergency situations, wind loads, accidents, design errors, safety, dynamic systems, self-excited oscillations, parametric oscillations, emergency actions, building norms, building norms, stability of equilibrium, stability of oscillations.

Е.Б. КОРЕНЕВА, д.т.н. (Московское высшее общевойсковое командное орден Жукова, Ленина и Октябрьской революции Краснознаменное училище) АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ О КОЛЕБАНИЯХ АНИЗОТРОПНЫХ УПРУГИХ ТЕЛ...47

Рассмотрен аналитический метод для решения задач о колебаниях круглых пластин, сделанных из анизотропного материала. Решения получены в замкнутом виде и выражены в функциях Бесселя. Используется метод компенсирующих нагрузок (МКН). Принято, что материал конструкций обладает цилиндрической анизотропией и является ортотропным. Для решения ряда задач об анизотропных средах используется новый прием, позволяющий применять МКН. Для этого используется уравнение Нильсена. Подробно изучаются вопросы вынужденных колебаний анизотропных круглых пластин.

Ключевые слова: анизотропия, пластины, колебания, функции Бесселя.

UDC 624.073. **The analytical method for solving of vibration problems of anisotropic elastic solids.** Koreneva E.B., Moscow higher military command school

The work covers the problems of analytical approach for solving of vibration problems of circular plates made from anisotropic material. The solutions are obtained in closed form in terms of Bessel functions. Method of compensating loads (MCL) is applied. It is assumed that the constructions' material is orthotropic since it possessed of cylindrical anisotropy. New approach allowing MCL application is used. Nielsen's equation is taken into consideration. The problems of anisotropic circular plates forced vibration are examined in detail.

Key words: anisotropy, plates, vibration, Bessel functions.

Термомеханика

М.О. МОИСЕЕНКО, к.т.н., О.Н. ПОПОВ, к.т.н. (ТГАСУ, г. Томск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ НДС НЕРАЗРЕЗНОЙ ГИБКОЙ ПЛАСТИНЫ С НАЧАЛЬНЫМ ПРОГИБОМ...51

Исследуется изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) тонкой неразрезной гибкой пластины $a \times b \times h = 50 \times 100 \times 0,7$ см гибкостью $a/h = 50/0,7 = 71,4$ (отношение меньшей стороны к толщине) из материала — титановый сплав ВТ6. Пластина по контуру и по центральной поперечной оси симметрии подкреплена шарнирно неподвижными опорами и находится под воздействием неравномерного температурного поля. При расчете учитывается начальный прогиб сравнимый с толщиной пластины, геометрическая нелинейность по Т. Карману, учитывается изменение механических свойств материала по полю пластины в зависимости от величины температуры. НДС в пластине гибкостью $a/h = 71,4$ характеризуется интенсивностью напряжений и поперечными перемещениями (прогибами). Из анализа полученных результатов исследования сделаны выводы: а) при уменьшении толщины пластины усиливается влияние мембранных составляющих напряжений. Они существенно изменяют возникающие изгибные составляющие напряжений и величины прогибов; б) при расчетах пластин с гибкостью больше 70 следует совместно учитывать начальный прогиб, геометрическую нелинейность, неоднородность физических свойств, связанную с переменным температурным полем. При линейном расчете полученные величины, характеризующие НДС имеют большую погрешность; в) графики зависимости интенсивности напряжений и прогибов от температуры в пластине гибкостью $a/h = 71,4$ изменяются менее плавно, чем в пластине с меньшей гибкостью $a/h = 50$; г) при возрастании величины температуры уменьшается модуль упругости; при этом в отдельных фибровых волокнах пластины гибкостью 71,4 изменяется знак интенсивности напряжений, что в свою очередь ведет к качественному изменению НДС.

Ключевые слова: пластина, начальный прогиб, геометрическая нелинейность, температурное воздействие.

UDC 7.04:535.4.011.22.23. **Investigation of the impact of the temperature field for variation of the vat by unexpected flexible plate with initial bend.** Moiseenko M.O., Popov O.N., TGASU, Tomsk

Key words: plate, initial deflection, geometric nonlinearity, temperature influence.

М.В. СПАССКАЯ, инж., А.А. ТРЕЩЁВ, д.т.н., проф. Тульский государственный университет ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ПОЛОГОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ МАТЕРИАЛА С УСЛОЖНЕННЫМИ СВОЙСТВАМИ...58

Исследуется несвязанная задача термоупругости для пологой сферической оболочки из ортотропного разнородного материала. В статье представлен вывод системы разрешающих уравнений. На основе рассматриваемой модели решена конкретная задача. Приведены наиболее характерные результаты расчета НДС оболочки и выполнен их анализ. Данные по представленной модели сравниваются с классическим решением и с результатами по наиболее апробированным моделям разнородных материалов.

Ключевые слова: разнородность, анизотропия, термоупругость, несвязанная задача, полая сферическая оболочка, разрешающие уравнения, напряженно-деформированное состояние. UDC 539.384.6:539.377:539.319. **Thermo-mechanical problem of shallow spherical shell made of materials with complex properties.** Spasskaya M.V., Treschev A.A. Tula state University, Tula. An uncoupled problem of thermoelasticity for a shallow spherical shell of an orthotropic material of different resistance is investigated. The article presents the derivation of a system of resolving equations. On the basis of the model under consideration, a specific problem has been solved. The most characteristic results of calculating the shell's envelope are given and their analysis is performed. Data on the presented model is compared with the classical solution and with the results for the most tested models of materials of different resistance.

Key words: different resistance, anisotropy, thermo-elasticity, uncoupled problem, shallow spherical shell, resolving equations, stress-strain state.

Е.И. БРИТВИН, канд. физ.-мат. наук (ГУВЗ ПГАСА, г. Днепр, Украина)

ЧЕТЫРЕХУЗЛОВОЙ ТЕТРАЭДРИЧЕСКИЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ В УЗЛАХ...66

На основе базового 20-узлового тетраэдрического конечного элемента с поступательными степенями свободы третьего порядка, выведены функции формы четырехузлового тетраэдрического конечного элемента с вращательными степенями свободы в узлах (три поступательные плюс три поворота). Поступательные перемещения узлов на сторонах базового элемента естественным образом выражены через степени свободы узлов, расположенных в вершинах прямоугольника. Матрица жесткости элемента представлены в виде суммы произведений табулированных числовых матриц на алгебраические матрицы, коэффициенты которых выражены через координаты вершин тетраэдра. Продемонстрирована хорошая сходимость решения, полученного на основе разработанного элемента.

Ключевые слова: конечный элемент, тетраэдрический конечный элемент, тетраэдрический конечный элемент с вращательными степенями свободы.

UDC 624.044. **Four-node tetrahedral finite element with drilling degrees of freedom in nodes.** Britvin E.I., GUVZ PGASA, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Based on the basic 20-node tetrahedral finite element with translational degrees of freedom of the third order, the functions of the four-node tetrahedral finite element with rotational degrees of freedom in the node are derived (three translational plus three rotational). The translational movements of the nodes on the sides of the base element are naturally expressed in terms of the degrees of freedom of the vertices nodes of the tetrahedron. The element stiffness matrix is represented as the sum of the products of tabulated numerical matrices by algebraic matrices whose coefficients are expressed in terms of the coordinates of the vertices of the tetrahedron. A good convergence of the solution obtained on the basis of the developed element is demonstrated.

Key words: finite element, tetrahedral finite element, tetrahedral finite element with drilling degrees of freedom.

№ 6 за 2018 год

Расчёты на прочность

А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., проф. Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г. Киев, Украина

К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФЕРМ НАИМЕНЬШЕГО ВЕСА...2

В задаче об отыскании оптимальных проектов плоских статически определимых ферм предложено оценивать их несущую способность кинематическим методом теории предельного равновесия. Рассмотрены конкурентные формы исчерпания их несущей способности при действии вертикальной нагрузки, приложенной в узлах верхнего пояса. Полученные проекты ферм минимального веса сравниваются с известными решениями и с традициями принятой проектной практики.

Ключевые слова: ферма, несущая способность, оптимальное проектирование.

UDC 624.04:539.376. **The minimum weight design of trusses.** Dekhtyar' A.S., National Academy of Fine Arts and Architecture, Kiev, Ukraine

In a task for optimum projects search of flat statically definable trusses the approach is offered to estimate their load carrying capacity by the kinematical method of the limit load theory. The competition forms of exhausting of their limit loads under action of the vertical loading attached in the nodes of upper belt are considered. The got projects of minimum weight trusses are compared by the formerly known decisions. and with traditions of the accepted project practice.

Key words: truss, load, carrying capacity, optimal design.

Е.М. ЗВЕРЯЕВ, д.т.н., проф. Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В УГЛОВЫХ ТОЧКАХ ДЛИННОЙ УПРУГОЙ ПОЛОСЫ...7

Классический полуобратный метод Сен-Венана в современном понимании может трактоваться как метод простых итераций. Интегрирование системы уравнений производится путем последовательного интегрирования уравнений первого порядка с малым параметром. Выполнение граничных условий на длинных краях дает отдельные уравнения для медленно и быстроменяющихся компонент решения. Медленные описывают классическое решение, быстрые — концентрацию напряжений в угловых точках длинной полосы, позволяя выполнить все условия на концах и устранить разрывы классических решений по Фридрихсу.

Ключевые слова: метод Сен-Венана, принцип сжатых отображений, концентрация напряжений, сингулярно возмущенное уравнение.

UDC 539.3. **Method of calculation of stress concentration in angular points of long elastic strip.** Zveryaev E.M., Institute of Applied Mathematics M.V. Keldysh, Moscow.

The classical semi-inverse method of Saint-Venant in the modern sense can be interpreted as a method of simple iterations. The integration of the system of equations is performed by successively integrating the first order equations with a small parameter. Verification of boundary conditions on long edges gives separate equations for slowly and rapidly changing components of the solution. The slow ones describe the classical solution, the fast ones give the stresses concentration at the corner points of the strip, allowing fulfilling all the conditions at the ends and eliminating the discontinuities of the classical solutions according to Friedrichs.

Key words: Saint-Venant method, mappings contractions principle, stress concentration, singularly perturbed equation.

В.А. КОМАРОВ, к.т.н., доц. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства ПРОЧНОСТЬ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ В ПОДРЕЗКАХ КОРОТКИХ КОНСОЛЕЙ БАЛОК...14

Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований сопротивления наклонных сечений в подрезках железобетонных балок. Рассмотрены особенности напряженно-деформированного состояния опорной зоны, образованной подрезкой. Выявлен характер образования и схема разрушения наклонных сечений, проходящих по высоте подрезки. Дана качественная и количественная оценка прочности наклонных сечений в подрезках коротких консолей балок при действии поперечных сил. Предложены расчетные схемы (модели), наиболее близко отвечающие реальному физическому характеру работы наклонных сечений в рассматриваемых предельных состояниях. Даны рекомендации расчета наклонных сечений, проходящих по высоте подрезки коротких консолей железобетонных балок на основе методик СП 63.13330.2012 и Пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций

из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения к ранее действующему СНиП 2.03.01-84*.

Ключевые слова: подрезка, короткая консоль балки, продольная и сосредоточенная поперечная арматура, трещины, наклонные сечения, схемы разрушения, расчетные модели. UDC 624.072.21. **The strength of the inclined sections of the cut short consoles beams.** Comarov V. A., Penza State University of Architecture and Construction

The results of experimental and theoretical studies of the resistance of inclined sections in the undercuts of reinforced concrete beams are presented. The features of the stress-strain state of the support zone formed by trimming are considered. The character of formation and the scheme of destruction of inclined sections passing along the height of trimming is revealed. The qualitative and quantitative assessment of the strength of inclined sections in the undercuts of short beam consoles under the action of transverse forces is given. The calculation schemes (models) are proposed that most closely correspond to the real physical nature of the work of inclined sections in the considered limit States. Recommendations of calculation of the inclined sections passing on height of trimming of short consoles of reinforced concrete beams on the basis of techniques of SP 63.13330.2012 and the Manual on design of concrete and reinforced concrete designs from heavy and light concrete without preliminary tension to earlier operating SNiP 2.03.01-84* are given.

Key words: cutting short the console beams, longitudinal and transverse concentrated rebar, cracks, inclined section, the scheme of destruction, the estimated models.

А.А. МИНАСЯН, инж. ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ...19

Многочисленные исследования показали, что при воздействии окружающей среды на конструкции из бетона и железобетона увеличивается их деформативность, снижается несущая способность и т.д. В натуральных климатических условиях происходит деструктивное разрушение и образование трещин, а при влиянии напряженного состояния этот процесс ускоряется, вызывая снижение прочности бетона и коррозию арматуры. Снижение прочностных характеристик бетона и уменьшение сечения арматуры, приводит к снижению несущей способности железобетонных конструкций. Представлены результаты исследований несущей способности коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия, подвергшихся замораживанию-оттаиванию в течение времени (годы). Приводятся экспериментальные данные по натурным испытаниям железобетонных плит с фактическими прочностными характеристиками бетона и частично прокорродированной арматурой. Получены графики зависимости: снижение прочности бетона и рабочего сечения арматурных стержней в зависимости от времени (годы) в климатических условиях г.Москвы. Прочностные характеристики бетона в зонах сжатия и растяжения после статистической обработки на вероятностной основе обеспеченностью 0,95 аппроксимированы экспоненциальной зависимостью. На основании испытания серии плит разной схемы, определены показатели функции повреждения бетона для данного момента времени.

Ключевые слова: несущая способность, критерии относительного снижения прочности бетона, критерии бетона, зависящий от напряженного состояния, коррозионное повреждение, зависимости момент – прогиб, прочность коррозионно-поврежденного бетона.

UDC 624.072.225. **Carrying capacity of corrosive damaged reinforced concrete plates by results of natural tests.** Minasyan A. A., Research Centre «Construction» — the Central Scientific Research Institute of Building Constructions named after V. A. Kucherenko, Moscow.

In recent years, in many regions of Russia, as well as in Moscow, there was a need to complete the construction or reconstruction of buildings and structures, the construction of which was stopped 10—15 years ago, and many objects were not conserved. When determining the performance of such buildings and structures, it is necessary to accurately assess the residual life of the structural elements. In the absence of conservation of reinforced concrete slabs are most exposed to atmospheric influences, affecting the strength and deformation characteristics of concrete and the bearing capacity of slab structures. To accurately assess the residual life of the bearing capacity of the floors in the conditions of long-term cyclic freezing-thawing, it was necessary to perform a series of tests of corrosion-damaged concrete slabs.

Key words: bearing capacity, corrosion damage, dependences of moment-deflection, strength and deformation modulus of corrosion-damaged concrete.

[Расчеты на устойчивость](#)

Д.В. КОНИН, к.т.н., А.Р. ОЛУРОМБИ, инж. ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

О РАСЧЕТЕ МЕСТНОЙ И ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЛЬНЫХ ТРУБ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ВНЕЦЕНТРОМ СЖАТИИ В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКЕ...25

В современном стальном строительстве все чаще применяются профили замкнутого поперечного сечения, в частности трубы круглого сечения [1]. В пример можно привести ряд уникальных сооружений: стадион Спартак в Москве, универсальный-футбольный стадион в Казани, терминал А аэропорта Внуково, конструкции покрытия Крылатского конькобежного центра. Труба как элемент конструкции хорошо работает на осевые нагрузки, ее преимущественно применяют в качестве сжатого или сжато-изгибаемого элемента. Расчет с учетом осевой сжимающей силы, как правило приводит нас к расчету устойчивости стержня. Однако во многих случаях потеря местной устойчивости стенки трубы происходит раньше (а порой значительно раньше) потери общей устойчивости стержня. Действующие нормы по стальным конструкциям [СП 16.13330.2017] не регламентируют вопрос местной устойчивости замкнутых профилей. По результатам проведенного исследования нагрузка при которой происходит потеря местной устойчивости трубы может быть на 15–20% ниже нагрузки, полученной при расчете на общую устойчивость. Статья посвящена определению критических сил, соответствующих потере местной и общей устойчивости.

Ключевые слова: местная устойчивость, общая устойчивость, труба круглого сечения, внецентренное сжатие, аналитический расчет.

UDC 624.075. **About global and local buckling calculation of steel pipes with annular section, taking into account the plastic work of the material.** Konin D. V., Olurombi A. R., Research Centre «Construction» — the Central Scientific Research Institute of Building Constructions named after V. A. Kucherenko, Moscow.

In modern steel construction, profiles of a closed cross section, in particular pipes of circular cross section, are increasingly used. A number of unique structures can be cited as an example: Spartak Stadium in Moscow, a universal football stadium in Kazan, Terminal A of Vnukovo Airport, roof structures of the Krylatsky Speed Skating Center. The pipe, as a structural element, works well for axial loads, it is mainly used as a compressed or compressed-bending element. Accounting for compression leads us to global buckling calculation. However, in some cases the local buckling occurs earlier than global buckling. The current standards do not regulate the issue of local buckling of tubes. According to the results of the study, the critical load of global buckling can be 15—20% less than local critical load. This article about analytical calculation of critical forces for global and local buckling.

Key words: local buckling, global buckling, steel pipes with annular section, eccentric compression, analytical calculation.

[Динамические расчёты](#)

О.В. ЕМЕЛЬЯНОВ, к.т.н., доц., Д.А. ИВАНОВА, инж., В.Б. ГАВРИЛОВ, к.т.н., Магнитогорский государственный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПЯТНА КОНТАКТА НА ПОВЕРХНОСТИ ГОЛОВКИ КРАНОВОГО РЕЛЬСА В МЕСТЕ КОНТАКТА С КОЛЕСОМ МОСТОВОГО КРАНА...30

Решается задача определения размеров пятна контакта, максимальных нормальных и приведенных напряжений на поверхности головки кранового рельса в месте контакта колеса мостового крана с крановым рельсом. Сопоставлены результаты расчетов, выполненных по известным зависимостям, с результатами численного моделирования. Установлены зависимости, связывающие размеры пятна контакта на поверхности головки кранового рельса, максимальные нормальные σ_{\max} и приведенные (по Мизесу) напряжения в центре пятна с величиной вертикального давления колеса мостового крана грузоподъемностью 50т. Расчетом показано, что одной из причин преждевременного, по сравнению с прогнозом при проектировании, износа крановых рельсов в процессе эксплуатации является превышение фактических приведенных напряжений предела текучести стали в месте контакта кранового рельса с колесом мостового крана.

Ключевые слова: колесо, рельс, вертикальная нагрузка, пятно контакта, контактные напряжения, коэффициент запаса прочности.

UDC 624.014.2. **Determining of the contact point size on the overhead crane rail surface of contact wheel and crane rail.** Emel'yanov O. V., Ivanova D. A., Gavrilov V. B., Magnitogorsky State Technical University named after G. I. Nosov, Magnitogorsk.

This paper presents the solution of contact patch size in maximal normal stress on the overhead of travelling crane rail surface of wheel contact patch and crane rail. The results of estimates are compared to the results of digital modeling carried out according to known dependences. There were defined (found out) of contact patch size) the subsections on the overhead travelling crane head surface and maximal normal stress σ_{\max} and equivalent (von-Mises) stress in the center of contact patch with the value of the vertical pressure of overhead travelling crane wheel with the loading capacity of 50 tons. The estimates show that one of the reasons of premature overhead travelling crane wear in operating process is exceeding the actual equivalent (von-Mises) stress steel flow limit in crane rail contact with travelling crane wheel position in comparison to prognostics in design. **Key words:** wheel, rail, vertical loading, contact patch, contact stress, reserve factor.

И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. (РУТ МИИТ, г. Москва)

МЕТОД РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕБНЫХ СОСТАВОВ И ДВУХПУТЫХ БАЛОЧНЫХ СКОРСТОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ Часть 2. ДЕЙСТВИЕ НА МОСТ ПОДВИЖНЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ В СИСТЕМЕ «МОСТ – СОСТАВ» (к формированию норм для ВСМ)...34

Предложен численный метод для исследования совместных колебаний скоростных составов и двухпутных пролетных строений мостов, моделируемых тонкостенными стержнями с открытыми или замкнутыми (с ответвлениями) профилями, при боковых сейсмических воздействиях на мост, задаваемых акселерограммами. Для решения задачи используются шаговая процедура для решения задач динамики и метод узловых ускорений, предложенные ранее автором, для учета действия на пролетные строения мостов подвижной инерционной нагрузки. Пролетное строение рассматривается как суперэлемент при аппроксимации смещений линейными и тригонометрическими функциями, учитывается горизонтальная и вертикальная динамика подвижного состава. Каждый вагон моделируется механической системой с 25 степенями свободы, путь на пролетном строении и вне моста заменяется упруго-вязкими линейными и нелинейными элементами. Предлагаемая методика, учитывает, как горизонтальные и вертикальные неровности при размещении рельсового пути, так и поперечное смещение колесной пары относительно инертного рельса с учетом сил псевдоскольжения при влиянии колесных пар. Рассматриваются вопросы применения устройств безопасности в системе «мост – состав» при боковых сейсмических воздействиях.

Ключевые слова: колебания двухпутных мостов, боковые сейсмические воздействия, акселерограммы, скоростные составы, тонкостенные стержни с открытым и замкнутыми профилями, шаговые процедуры, силы псевдоскольжения, модели элементов безопасности.

UDC 624.07.534.1. **The calculation method of interaction of high-speed trains and double-track girder bridges under seismic loads. Part 2. Action on a bridge of mobile and seismic loads, modelling of safety elements in the system «bridge-train» (for the standards of high-speed rails).** Ivanchenko I. I., Russian University of Transport (MIIT), Moscow.

The article proposes a numerical method to study joint oscillations of high-speed trains and double-track span structures of bridges, modelled by thin-walled rods with open or closed (with branches) profiles under lateral seismic actions on a bridge given by accelerograms. The step procedure for solving the dynamic problems and the method of nodal accelerations, proposed earlier by the author, are used to take into account the action of mobile inertial load on the span structures of bridges. The superstructure is considered as a superelement in the approximation of displacements by linear and trigonometric functions taking into account the horizontal and vertical dynamics of rolling stock. Each railcar is modelled by a mechanical system with 25 degrees of freedom, the railway on the superstructure and outside the bridge is replaced by elastic-viscous linear and nonlinear elements. The proposed method takes into account both horizontal and vertical irregularities in the placement of a rail track and the transverse displacement of the wheel pair in regard to the inert rail, taking into account the pseudo-slip forces while wagging wheel pairs. The questions of application of safety devices in the system «bridge-train» at lateral seismic actions are considered.

Key words: vibrations of double-track bridges, lateral seismic effects, accelerograms, high-speed trains, thin-walled rods with open and closed profiles, step procedures, pseudo-slip forces, models of safety elements.

[Численные методы](#)

А.В. ЕРМАКОВА к.т.н., доц. Южно-Уральский государственный университет, г.Челябинск

ДВА СПОСОБА ПОСТРОЕНИЯ ИТЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА МЕТОДА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ...45

Метод дополнительных конечных элементов (МДКЭ) разрабатывается как вариант метода конечных элементов (МКЭ) для расчета конструкций с несколькими физически нелинейными свойствами. При анализе работы таких конструкций основной операцией является решение системы линейных алгебраических уравнений итерационными методами. Для построения итерационного процесса МДКЭ предлагает использовать дополнительные расчетные схемы из дополнительных конечных элементов (ДКЭ) и идеальные модели разрушения. Математическая реализация этого процесса возможна двумя способами, которые и рассматриваются в данной статье.

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

UDC 624.04+624.07. **Two ways for realization of iterative process at additional finite element method.** Ermakova A. V., South-Ural State University.

Additional Finite Element Method (AFEM) is the variant of Finite Element Method (FEM) which intends for analysis of structures with several nonlinear properties. Solution of the algebraic system of linear equations by iterative methods is the main step for analysis of such structures. AFEM suggests the additional finite elements of additional design diagrams and ideal failure models for creation of iterative process. Two ways of mathematic realization of this process are possible. Both of them are considered in given paper.

Key words: additional finite element method, finite element method, iterative process, additional design diagram, additional finite element, ideal failure model.

О.О. КОНДРАТЕНКО, инж. Томский государственный архитектурно-строительный университет
ОБЩЕЕ СВОЙСТВО ОПТИМАЛЬНЫХ РЕБРИСТЫХ ТОНКИХ ПЛАСТИН ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ И ОДНОВРЕМЕННОМ УПРАВЛЕНИИ ВЫСОТОЙ И ШИРИНОЙ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РЕБРА...53

Представлен анализ свойств оптимальных ребристых пластин постоянной толщины. Свойства сформулированы аналитически из уравнений метода множителей Лагранжа и численно в результате определения трех характеристик оптимальных пластин. Эти характеристики представляют собой производные от полной энергии системы по геометрическим размерам поперечного сечения ребер (высота и ширина прямоугольного поперечного сечения). Три характеристики соответствуют трем вариантам управления параметрами оптимизации: управление только шириной поперечных сечений ребер (1); управление только высотой поперечных сечений ребер (2); управление шириной и высотой поперечных сечений ребер (3). Численный анализ показал, что три варианта управления параметрами оптимизации имеют одну общую характеристику оптимальности, соответствующую третьему варианту. На основе этого вывода сформулировано общее свойство оптимальности ребристых пластин при любом порядке управления геометрическими параметрами поперечных сечений ребер.

Ключевые слова: пластина, ребро, частота собственных колебаний, оптимальность, метод Лагранжа.
UDC 624.045. **A general property of optimal ribbed thin plates in the separate and simultaneous control of height and width of the cross section of the ribs.** Kondratenko O.O., Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering.

The article presents an analysis of the properties of optimal ribbed plates of constant thickness. Properties are formulated analytically from the equations of the Lagrange multipliers method and the numerical result from the definition of three characteristics of the optimal plates. These characteristics are derived from the total energy of the system by the geometric dimensions of the cross-section of the ribs (height and width of the rectangular cross-section). Three characteristics correspond to three variants of control of optimization parameters: control only the width of the cross-sections of the edges; controls only the height of the edge cross sections; controls the width and height of the edge cross sections. Numerical analysis has shown that three variants of optimization parameters control have one General optimality characteristic corresponding to the third variant. On the basis of this conclusion, the General optimality property of ribbed plates is formulated for any order of control of the geometric parameters of the edge cross sections. **Key words:** plate edge, the natural frequency, optimality, Lagrange's method.

Нормирование

Е.Ю. ДАВЫДОВ, д.т.н., проф. Белорусского национального технического университета (БНТУ), г. Минск, Беларусь

АНАЛИЗ ЕВРОПЕЙСКИХ НОРМ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...58

На основании имеющегося опыта применения европейских норм в Республике Беларусь сделан анализ основных положений этих документов по проектированию стальных конструкций. Анализ выполнен в сопоставлении с аналогичными расчетными положениями приведенными в нормативных документах действующих на территории России (РФ) и Беларуси (РБ). Результаты сделанного анализа могут быть использованы при оценке надежности и экономичности стальных конструкций, запроектированных по европейским нормам, а также при корректировке нормативных документов касающихся требований к материалам, используемых на территории России и Беларуси для изготовления несущих стальных конструкций и к расчетным положениям по их проектированию.

Ключевые слова: нагрузка, стальная конструкция, прочность, устойчивость, коэффициент.
UDC 624.072.33.04 (083.75). **Analysis of the european standards for designing steel constructions.** Davydov E.U., Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus.

Based on the experience of applying European norms in the Republic of Belarus, an analysis of the main provisions of these documents on the design of steel structures was made. The analysis is carried out in comparison with the similar calculation provisions given in the regulatory documents in force in the territory of Russia and Belarus. The results of the analysis can be used in assessing the reliability and economy of steel structures designed according to European standards, as well as when adjusting regulatory documents concerning the requirements for materials used in the territory of Russia and Belarus for the manufacture of load-bearing steel structures and to the design provisions for their design.

Key words: load, steel structure, strength, coefficient.

О.И. ПОНОМАРЕВ¹, к.т.н., О.С. ЧИГРИНА¹, инж., Р.В. ГЕРАШЕНКО², инж.¹ ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г.Москва² Национальный

Исследовательский Московский государственный строительный университет

О РАСЧЕТНЫХ (НОРМАТИВНЫХ) СРОКАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ...65

Проведен краткий анализ отечественной и зарубежной нормативно-технической документации, в соответствии с которыми определяется расчетный (нормативный) срок эксплуатации кирпичных, каменных и блочных конструкций зданий и сооружений. Отмечается, что в российских нормах и стандартах в отличие от зарубежных при расчете несущей способности каменных конструкций недостаточно учитываются условия работы конструкций. Не разработана также классификация условий эксплуатации для каменных конструкций. По результатам анализа в статье приведена особая классификация условий эксплуатации для кладки стен зданий, возведенных в климатических условиях РФ, и рекомендован срок службы каменных конструкций.

Ключевые слова: кладка, каменные конструкции, расчетный (нормативный) срок эксплуатации, остаточный ресурс, условия эксплуатации.

UDC 693.27. **The design (normative) service life of masonry structures.** Ponomarev O.I., Chigrina O.S., Gerashchenko R.V., Research Centre «Construction» — the Central Scientific Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, Moscow; The National Research Moscow State University of Civil Engineering.

The article presents a brief analysis of domestic and foreign regulatory and technical documentation according to which the calculated (normative) service life of brick, stone and block structures of buildings and constructions is determined. It is noted that in the Russian standards while calculating bearing capacity of masonry structures the operation conditions of the structures are not properly taken into account. In the foreign standards the situation is different. There is also no classification of operating conditions for stone constructions. According to the results of the analysis, the article presents a special classification of operating conditions for masonry walls of buildings erected in the climatic conditions of the Russian Federation and the recommended service life of stone structures.

Key words: masonry, stone structures, design (normative) service life, residual life, operating conditions.

К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ, д.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

К ПОДГОТОВКЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КРИТЕРИЕВ ПРОЧНОСТИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СЛОЖНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ...72

Приводятся исходные предпосылки и основные принципы разработки критериев прочности каменной кладки с учетом продолжительности действия нагрузки во всех возможных диапазонах ее воздействия начиная с сотых долей секунды, кончая десятками и более суток. Исследуется сначала прочность конструктивного элемента изотропного материала, находящегося в условиях однородного сложного напряженного состояния. Рассматривается математическая модель работы материала, основные понятия и обозначения, с которыми не всегда знакомы работники проектных организаций или специалисты, не имеющие пока опыта расчетов элементов в сложных напряженных состояниях. В дальнейшем предполагается разработать предложения для включения в нормы проектирования каменных конструкций.

Ключевые слова: каменная кладка, критерии прочности для учета длительной прочности, математическая модель, основные понятия расчета и требования к экспериментальным исследованиям.

UDC 539.3 624.04. **Proposals for using the strength criteria for masonry under complex stress states.** Pyatikrestovsky K.P., Research Centre «Construction» — the Central Scientific Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko, Moscow.

The initial conditions and the basic principles of working out strength criteria for masonry taking into account action duration of loading at all possible diapasons are given. The diapasons are from of a second up to dozens days and more. The strength of a structural element of some isotropic material under homogeneous complex stress state is investigated first. The mathematical model of material work, the basic concepts and designations, which are not always familiar to employees of design organizations or professionals who do not have experience in the calculation of elements in complex stress states are given. In the future, it is planned to develop proposals for the design standards of stone structures.

Key words: masonry, strength criteria for long-term strength, mathematical model, basic concepts of calculation and requirements for experimental studies.

Журнал «Строительная механика и расчет сооружений» 2019 год



№ 1 за 2019 год

Расчёты на прочность

А.Г. АЛЕКСЕЕВ, к.т.н., доц. НИИОСП им. Н.М. Герсеванова (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ РАСТВОРА В ПАЗУХЕ БУРОПУСКНЫХ СВАЙ, УСТРАИВАЕМЫХ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ...2

Представлена методика определения давления морозного пучения, возникающего при замерзании раствора в пазухе сваи и ее внутренней полости при устройстве буропускных свай в многолетнемерзлых грунтах. Описывается модель для оценки величины давления пучения основанная на задаче линейной теории упругости для однородного осесимметричного изотропного цилиндра под давлением решение которой получено Ламе. Представлены уравнения по определению давления пучения, радиальной деформации и напряжений в свае под воздействием давления внутри и пазухе сваи. Рассчитаны величины давления, возникающего при замерзании раствора в пазухе и в замкнутом объеме внутренней полости сваи. Представлены результаты лабораторных исследований по промораживанию моделей свай с различными влагосодержащими растворами.

Ключевые слова: давление морозного пучения, давление кристаллизации воды, буропускная свая, напряжения радиальные, окружные и продольные, радиальные деформации, радиус, раствор.

UDC 539.3. **Determination of frost heave pressure of solution in the cavity of drill dipping piles arranged in permafrost soils.** Alekseev A.G., Gershevanov RIBUS, Moscow.

The article presents the method for determining the additional pressure of frost heave under freezing of solution in a cavity of a pile in permafrost soils. The author describes the model adopted to estimate the heaving pressure, which is based on the problem of Lamé's linear theory of elasticity for axisymmetric homogeneous isotropic cylinder under pressure. The equations for determining the heave pressure, radial deformation and stresses in the pile under the influence of pressure inside are presented. The pressure values arising during solution freezing in the cavity and in the closed space of the internal cavity of a pile are calculated. The results of laboratory studies on freezing of pile models with different moisture-containing solutions are given.

Key words: pressure of frost heave, pressure of water crystallization, drill dipping pile, radial, circumferential and longitudinal stress, radial deformation, radius.

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ БИЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ЗАМЫКАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ...8

Рассматриваются вопросы построения дифференциальных уравнений равновесия осесимметричного деформируемого сплошного среда при билинейной аппроксимации замыкающих уравнений с учетом и без учета геометрической нелинейности. Исходя из предположения о независимости билинейных диаграмм объемного и сдвигового деформирования рассмотрены шесть основных случаев физических зависимостей от взаимного расположения точек перегиба диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Построение билинейных физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. При этом на первом участке диаграмм секущий модуль и объемного и сдвигового деформирования постоянны, во время как на втором участке диаграмм секущий модуль объемного деформирования является функцией объемной деформации, а секущий модуль сдвига является функцией интенсивности деформаций сдвига. Получены разрешающие дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для осесимметричного деформирования сплошной среды, описываемой как с учетом геометрической нелинейности, так и без учета последней. Построенные дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут найти применение при определении напряженно-деформированного состояния сплошных сред, находящихся в условиях осесимметричного деформирования, как с учетом, так и без учета геометрической нелинейности, физические соотношения для которых описываются билинейными функциями.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения равновесия, осесимметричная деформация, билинейные замыкающие уравнения, геометрическая линейность, геометрическая нелинейность, UDC 519.633. **Differential equations of equilibrium an the axially symmetric deformation at bilinear approximation trailing equations.** Bakushev S.V., Penza State University of Architecture and Construction. Under analysis there are questions of construction of differential equations of equilibrium of an axially symmetric deformation of continuum at bilinear approximation of closing equation regarding and regardless geometrical nonlinearity. Based on assumption of independence from each other of bilinear diagrams of volume and shear deformation, there being analyzed six main cases of physical mutual interaction, depending on positional relationship of breaking points of volume and shear deformation diagrams. The construction of bilinear physical dependencies is based on calculation of secant modulus of volume and shear deformation. Therefore, at the first part of the diagrams, the secant modulus of volume and shear deformation is constant, while at the second part of the diagrams the secant modulus of volume deformation is a function of volume deformation and the shear secant modulus is an intensity shear deformation function. While putting bilinear physical equations into differential equations of equilibrium, we got resolving differential balance equations at movements for an axially symmetric deformation of continuum, described both regarding geometrical nonlinearity and regardless. Constructed in the present article differential equations of equilibrium at the movements can be applied while determining strain-stress state of continuum at the condition of an axially symmetric deformation both regarding and regardless geometrical nonlinearity, physical relations for which are described by bilinear functions.

Key words: differential equations of equilibrium, axially symmetric deformation, bilinear trailing equations, geometrical linearity, geometrical nonlinearity.

С.В. БОСАКОВ¹, д.т.н., проф., А.Н. ГУРЛО², вед. констр. ¹РУП «Институт БелНИИС», ²ОАО ПО МАПИД, г. Минск, Республика Беларусь

К РАСЧЕТУ СВАЙНО-ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ...18

Рассматривается задача о напряженно-деформированном состоянии прямоугольной фундаментной плиты, опирающейся на сваи под действием вертикальной нагрузки. Точное теоретическое решение рассматриваемой задачи в литературе отсутствует. Предлагается решать эту задачу, применяя сочетание способа Б.Н. Жемочкина и вариационно-разностного метода. При этом сваи заменяются пружинами с известной жесткостью, зависящей от размеров и материала сваи и физических постоянных грунта. В конечном итоге задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных узловых перемещений фундаментной плиты. После их определения сравнительно просто находятся продольные усилия в сваях и внутренние усилия в плите.

Ключевые слова: упругое основание, плита, свая, способ Жемочкина, вариационно-разностный метод. UDC 624.13. **The calculation of pile-slab foundations.** Bosakov S.V., RUE «Institute BelNIIS»; Gurlo A.N., JSC MAPID, Minsk, Belorussia

The article deals with the problem of stress-strain state of a rectangular foundation slab resting on piles under the action of vertical load. There is no exact theoretical solution of the considered problem in the literature. It is proposed to solve this problem by using a combination of B.N. Zhemochkin's method and the variation-difference method. In this case, piles are replaced by springs with known stiffness depending on the size and material of a pile and the physical constants of soil. In the end, the problem is reduced to solving a system of linear algebraic equations with respect to unknown nodal displacements of the foundation slab. Then longitudinal forces in the piles and internal forces in the slab are to be determined.

Key words: elastic foundation, slab, pile, Zhemochkin's method, variation-difference method.

О.В. БОЛДЫРЕВА, к.т.н. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ОБРАЗОВ...23

Предложен алгоритм определения перемещений и трещин в железобетонной балке методом цифровой обработки образов. Алгоритм построен на использовании двух изображений образов частиц, полученных в два последовательных момента времени с задержкой между ними. Измерение полей перемещений в заданной плоскости основано на измерении перемещения отдельных частиц, для чего образы этих частиц регистрируются на цифровую камеру. Приведена методика эксперимента, характеристики исследуемой балки, ее армирование. С помощью метода цифровой обработки образов выявлены места намечающихся трещин на начальной стадии работы консоли опоры балки. Определено значение нагрузки, при которой образуются микротрещины на месте будущих визуально заметных трещин. Методом цифровой обработки образов определены полосы сдвига. Получены поля перемещений, деформаций сдвига и объема на различных ступенях нагрузки и разгрузки, получена картина образования и раскрытия трещин, их численные значения. Построены кривые зависимости перемещений и ширины раскрытия трещин от нагрузки.

Ключевые слова: метод цифровой обработки образов, определение перемещений, полосы сдвига, обнаружение микротрещин.

UDC 624.072.21. **Determination of displacements of a reinforced concrete beam method of digital processing of images.** Boldyreva O.V. Penza State University of Architecture and Construction.

An algorithm is proposed for determining displacements and cracks in a reinforced concrete beam by the method of digital image processing. Measurement of displacement fields in a given plane is based on measuring the movement of individual particles, for which images of these particles are recorded on a digital camera. A description of the experimental setup, the results of the method of digital image processing. Using the method of digital image processing, the places of emerging cracks at the initial stage of the cantilever beam support are revealed. The value of the load at which microcracks are formed on the site of future, visually noticeable cracks is determined. The shear bands are determined by the method of digital image processing. The fields of displacements, shear and volume deformations at different stages of loading and unloading are obtained, the pattern of crack formation and opening, the curves of displacements and crack opening width dependence on the load are obtained.

Key words: method of digital image processing, determination of movements, shear bands, crack detection.

В.А. ЕРЫШЕВ, д.т.н., проф. Тольяттинский государственный университет

К РАСЧЕТАМ ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ...28

Предлагается использовать энергетические законы механики в расчетах прочности железобетонных конструкций. Разработан алгоритм моделирования условия равновесия усилий в нормальном сечении численными методами. Предложена упрощенная деформационная модель расчета прочности сечения. Выполнен поверочный расчет и установлены соотношения между параметрами в предельном состоянии, полученных по трем методикам.

Ключевые слова: прочность, деформации, энергетическая модель, диаграммы бетона, арматуры.

UDC 624.012.45. **To calculations of the strength of bendable reinforced concrete elements using the diagrams of material deformation.** Eryshev V.A., Tolyatti State University.

In the deformation methods for calculating the strength of reinforced concrete structures using strain diagrams of materials of concrete and reinforcement, the author proposes to apply the energy laws of the mechanics of deformation of solids. The force in the concrete of the compressed zone in the equilibrium equation is determined by the potential energy expended on the deformations of the sample of concrete (prism, cylinder) under load. The amount of energy expended is numerically equal to the area used in the calculation of the normalized diagram. An analytical connection is established between the parameters of normalized diagrams and the parameters of the section of an element in the limiting state. At conclusions of resolving equilibrium equations, a hypothesis of flat sections is applied. The verification of the fulfillment of the condition of the equilibrium of forces in the cross section of an element is performed by the method of successive approximation using computer simulation by summing the stresses in the selected elementary strips. For the calculation of complex engineering systems, the author offers a simplified deformation model, which eliminates the time-consuming iterative process. In a section of an element, it is not several elementary strips that stand out, but one strip with a voltage level determined from a concrete diagram at the level of its center of gravity. In the examples of the calibration calculation, the relations between the parameters in the limiting state are obtained using the deformation model using normalized diagrams of concrete and reinforcement, using a simplified rectangular concrete diagram and using the method of limiting forces.

Key words: strength, deformation, energy model, concrete diagrams, reinforcement.

М.О. МОИСЕЕНКО, к.т.н., О.Н. ПОПОВ, к.т.н. Томский государственный архитектурно-строительный университет

ВЛИЯНИЕ ГИБКОСТИ И НАЧАЛЬНОГО ПРОГИБА НА ТЕРМОУПРУГОСТЬ НЕРАЗРЕЗНОЙ ПЛАСТИНЫ...34

Исследуется изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) тонких неразрезных пластин разной гибкости (отношение меньшего размера в плане к толщине – λ a/h), выполненных из материала ВТ6. Рассматриваются неразрезные двухпанельные пластины гибкостью 71,4; 50; 33,3. Размеры панелей $50 \times 100 \times h$ ($h = 0,7; 1,0; 1,5$ см). Пластины закреплены по контуру и по поперечной оси симметрии с помощью шарнирно неподвижных опор. Расчет проводится с учетом начальных прогибов (НП), сравнимых с толщиной пластины, которые принимаются равными: 0; h/2; h. Конструкция находится под воздействием температурного поля неравномерно распределенного по поверхности. При расчете учитывается НП, геометрическая нелинейность по Т. Карману и изменение механических свойств материала по полю пластины в зависимости от величины температуры. НДС в пластине с НП и разной гибкостью характеризуется интенсивностью напряжений и прогибами. Согласно представленным результатам расчетов сделаны выводы: а) при увеличении гибкости пластины усиливается влияние мембранных составляющих напряжений. Они влияют на возникающие изгибные составляющие напряжений и величины прогибов; б) при расчетах пластин с гибкостью больше 30 следует одновременно учитывать НП геометрическую нелинейность, неоднородность физических свойств, связанную с переменным температурным полем; в) все полученные графические зависимости нелинейны, что указывает на значительную погрешность линейных расчетов и полученных величин характеризующих НДС; г) графики зависимости напряжений и прогибов от температуры в пластине гибкостью $a/h = 71,4$ изменяются менее плавно, чем в пластине с меньшей гибкостью $a/h = 33,3$; д) «простыми» нагружения бывают не всегда, т.к в отдельных фибровых волокнах меняется знак напряжения. Особенно с увеличением величин гибкости и температурного воздействия.

Ключевые слова: пластина, начальный прогиб, гибкость, геометрическая нелинейность, температурное воздействие, изменение механических свойств.

UDC 7.04:535.4.011.22.23. **Influence of flexibility and primary bending for thermal-elasticity of an uncut plate.** Moiseenko M.O., Popov O.N., Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. The change in the stress-strain state (NDS) of thin continuous plates of different flexibility (ratio of smaller size in terms of thickness — $\lambda = a/h$) made of material VT6 is investigated. Continuous two-pane plates with a flexibility of 71.4; 50; 33.3. The dimensions of the panels are $50 \times 100 \times h$ ($h = 0.7; 1.0; 1.5$ cm). The plates are fixed along the contour and along the transverse axis of symmetry with the help of pivotally fixed supports. The calculation is carried out taking into account the initial deflections (NP), comparable to the thickness of the plate, which are assumed to be: 0; h/2; h. The design is under the influence of the temperature field unevenly distributed over the surface. When calculating, NP is taken into account, geometric non-linearity according to T. Karman and change in the mechanical properties of the material across the plate field depending on the temperature value. NDS in the plate with NP and different flexibility is characterized by the intensity of stresses and deflections. According to the presented calculation results, the conclusions were made: a) with increasing plate flexibility, the effect of membrane components of stress increases. They affect the resulting bending stress components and deflection values; b) when calculating plates with flexibility greater than 30, the NP, the geometric nonlinearity, the heterogeneity of the physical properties associated with the variable temperature field should be simultaneously taken into account; c) all obtained graphical dependencies are non-linear, which indicates a significant error in linear calculations and the obtained values characterizing the NDS d) graphs of stresses and deflections as a function of temperature in a plate with flexibility $a/h = 71,4$ change less smoothly than in a plate with less flexibility $a/h = 33,3$; e) «simple» loads are not always, because the sign of stress changes in individual fiber fibers. Especially with increasing values of flexibility and temperature exposure.

Key words: plate, initial deflection, flexibility, geometric nonlinearity, temperature effects, changes in mechanical properties.

Г.Т. ТАРАБРИН, д.т.н., проф. ВолгГТУ, г. Волгоград

ОРТОТРОПНАЯ ПОЛОГАЯ ОБОЛОЧКА ВРАЩЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ, ТРАНСФОРМИРУЕМАЯ В КРУГЛУЮ ПЛАСТИНУ...41

Упруго ортотропная оболочка в форме полого усеченного конуса с боковой поверхностью положительной гауссовой кривизны, образованной вращением выпуклой кривой, подвергается осесимметричному сжатию по оси вращения абсолютно жесткими штампами. В результате этого оболочка, сохраняя упругость, трансформируется в круглую пластину. Решается задача о напряженно-деформированном состоянии этой пластины. Оболочка предполагается достаточно полой, чтобы геометрическая и физическая стороны задачи оказались линейными и приняты в форме соотношений Коши и закона Гука. Разрешающее уравнение является уравнением перемещений осесимметричной задачи теории упругости и представляет собой неоднородное дифференциальное уравнение Эйлера с коэффициентами общего вида. Такой вид разрешающего уравнения означает, что осесимметричная задача Ламе теории упругости, описываемая однородным уравнением Эйлера с каноническими коэффициентами, является частным случаем решаемой задачи. Получено точное решение в квадратурах для четырех вариантов граничных условий. Вариант 1: Внутрь меньшего основания оболочки вставлена и шарнирно прикреплена по всему контуру упругая пластина. Большее основание оболочки шарнирно прикреплено по всему контуру края круглого отверстия в бесконечно большой упругой пластине. Вариант 2: Меньшее основание оболочки имеет граничные условия варианта 1, а большее основание оболочки свободно от внешних воздействий. Вариант 3: Меньшее основание оболочки свободно от внешних воздействий, большее основание имеет граничные условия варианта 1. Вариант 4: И меньшее, и большее основания оболочки свободны от каких-либо внешних воздействий. Даны примеры расчетов сферических и параболических оболочек с разными граничными условиями, с разными направлениями армирования и с разными значениями упругих постоянных.

Ключевые слова: упругие пластины и оболочки.

UDC 539.3. Orthotropic flat shell of positive rotation Gaussian curvature transformable into a round plate. Tarabrin G.T., Volgograd State Technical University/

The elastic orthotropic flat shell of a closed shape in the form of a truncated cone is formed by the rotation of a convex curve. The shell is converted into a circular ring plate by compression absolutely rigid dies. The edges of the shell are hinged to the plates. Within the framework of physical and geometric linearity, the exact solution of the problem of the stress-strain state of the annular plate and the plates attached to it is obtained. The components of displacements, deformations and stresses are represented by explicit formulas, which are convenient for analytical studies and numerical calculations.

Key words: elastic plates and shells.

В.П. ШАРКОВ, к.т.н., доц. (РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва)

ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ПРИ ВЫГРУЗКЕ СИЛОСА ДЛЯ ЛЮБОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ СТЕН...49

В развитие аналитической зависимости для расчета горизонтального давления в силосах при выгрузке (или прокачки) заполнителя, выведенной для частного случая – абсолютно шероховатых стен, предложена формула для общего случая: для стен любой степени шероховатости, в том числе гладких, распространенных в силосах. В основе работы гипотеза автора о развитии у стен при осадках заполнителя, превышающих предельные, вертикальных давлений у стен, возникающих за счет сил трения до величин главных касательных напряжений. Динамическое давление на стенки автор предлагает получить, складывая статическое давление и приращение давления, для определения которых приводится обоснование, в том числе с использованием диаграммы Мора. В соответствии с полученной формулой динамическое давление зависит не только от угла контактного трения заполнителя (как статическое в формуле Янсена), но и угла внутреннего трения. Простая по форме формула учитывает физику явлений, подтверждается многочисленными опытными данными, полученными в модельных и в натуральных условиях.

Ключевые слова: силос, заполнитель, выгрузка, давление на стенки любой шероховатости, формула для расчета давления при выгрузке, главные касательные напряжения, круг Мора, опытное подтверждение.

UDC 69.01. Formula for the calculation of the horizontal pressure of the filler when unloading a silo for any roughness of walls. Sharkov V.P., Timiryazev Agrarian University, Moscow.

In the development of his analytical dependence for the calculation of horizontal pressure in silos during unloading (or pumping) of the filler, derived for a particular case – absolutely rough walls, proposed a formula for the General case — for walls of any degree of roughness, including smooth, common in silos. The work is based on the hypothesis of the author about the development of the filler precipitates at the walls, exceeding the limit, vertical pressures at the walls, arising due to the friction forces to the values of the main shear stresses. The author proposes to obtain dynamic pressure on the walls by adding the static pressure and the pressure increment, for which the justification is given, including the use of the Mohr diagram. According to the obtained formula, the dynamic pressure depends not only on the contact friction angle of the filler (as static in the Jansen formula), but also on the internal friction angle. The formula, simple in form, takes into account the physics of phenomena and is confirmed by numerous experimental data.

Key words: silo, filler, unloading, pressure on the walls of any roughness, the form for calculating the pressure during unloading, the main shear stresses, the Mohr circle, experimental confirmation.

Теория оптимизации

И.Н. СЕРПИК, д.т.н., проф., Н.В. ТАРАСОВА, ст.преподаватель Брянский государственный инженерно-технологический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОИСКА...58

Разрабатывается алгоритм оптимального проектирования предварительно напряженных стальных плоских ферм с системой затяжек из высокопрочных канатов. Полагается, что ферма раскреплена по перемещениям из своей плоскости по узлам. Для стержней принимаются во внимание деформации растяжения-сжатия и плоского изгиба. Ставится задача минимизации стоимости фермы в деле с учетом ограничений по прочности, жесткости и устойчивости. Выбирается схема установки затяжек, силы предварительного напряжения, площади поперечных сечений стержней и затяжек. Вводится избыточная структура для системы канатов. Варьирование этой структурой осуществляется рассмотрением условных вариантов затяжек с пренебрежимо малыми площадями поперечных сечений и силами предварительного напряжения. При этом структурно-параметрическая оптимизация сводится к параметрической. Используется эволюционная процедура оптимального проектирования и конечно-элементное моделирование. Работоспособность предлагаемой методики проиллюстрирована на примере оптимизации стальной фермы арочного типа с затяжками.

Ключевые слова: стальные фермы, предварительное напряжение, канаты, оптимизация, эволюционный поиск, поперечные сечения.

UDC 624.014.2:624.042. Optimization of pre-stressed steel trusses with using the evolutionary search. Serpik I.N., Tarasova N.V., Bryansk State University of Engineering and Technology.

An evolutionary algorithm for optimal design of prestressed steel trusses with a set of high-strength is being developed. The task in focus is to reduce the cost of the truss while taking into consideration the strength, rigidity, and stability limitations. The scheme of installing ties, prestressing forces, bar and tie cross sections are chosen. The feasibility of the proposed method is illustrated by the example of optimizing a steel truss of arch type with ties.

Key words: steel trusses, prestressing, ties, optimization, evolutionary search, cross sections.

Численные методы

О.В. ЕМЕЛЬЯНОВ, к.т.н., доц., Д.А. ИВАНОВА, инж., В.Б. ГАВРИЛОВ, к.т.н., Магнитогорский государственный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПЯТНА КОНТАКТА НА ПОВЕРХНОСТИ ГОЛОВКИ КРАНОВОГО РЕЛЬСА В МЕСТЕ КОНТАКТА С КОЛЕСОМ МОСТОВОГО КРАНА...30

Решается задача определения размеров пятна контакта, максимальных нормальных и приведенных напряжений на поверхности головки кранового рельса в месте контакта колеса мостового крана с крановым рельсом. Сопоставлены результаты расчетов, выполненных по известным зависимостям, с результатами численного моделирования. Установлены зависимости, связывающие размеры пятна контакта на поверхности головки кранового рельса, максимальные нормальные $\sigma_{\text{кмак}}$ и приведенные (по Мизесу) напряжения в центре пятна с величиной вертикального давления колеса мостового крана грузоподъемностью 50т. Расчетом показано, что одной из причин преждевременного, по сравнению с прогнозом при проектировании, износа крановых рельсов в процессе эксплуатации является превышение фактических приведенных напряжений предела текучести стали в месте контакта кранового рельса с колесом мостового крана.

Ключевые слова: колесо, рельс, вертикальная нагрузка, пятно контакта, контактные напряжения, коэффициент запаса прочности.

UDC 624.014.2. Determining of the contact point size on the overhead crane rail surface of contact wheel and crane rail. Emel'yanov O.V., Ivanova D.A., Gavrilov V.B., Magnitogorsky State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk.

This paper presents the solution of contact patch size in maximal normal stress on the overhead of travelling crane rail surface of wheel contact patch and crane rail. The results of estimates are compared to the results of digital modeling carried out according to known dependences. There were defined (found out) of contact patch size) the subsections on the over head travelling crane head surface and maximal normal stress $\sigma_{\text{кмак}}$ and equivalent (von-Mises) stress in the center of contact patch with the value of the vertical pressure of overhead travelling crane wheel with the loading capacity of 50 tons. The estimates show that one of the reasons of premature overhead travelling crane wear in operating process is exceeding the actual equivalent (von-Mises) stress steel flow limit in crane rail contact with travelling crane wheel position in comparison to prognostics in design.

Key words: wheel, rail, vertical loading, contact patch, contact stress, reserve factor.

А.А. КВАСНИКОВ, инж. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО«НИЦ«Строительство»), г.Москва

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕТОНА И АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ABAQUS...65

Выполнены моделирование и численный анализ взаимодействия бетона и арматуры с помощью объемных конечных элементов с учетом нелинейности работы материалов. Приводятся описание параметров, влияющих на моделирование железобетона. Для моделирования железобетона при выполнении расчетов использовался программный комплекс Abaqus с моделью пластичной поврежденности бетона, нашедшей наиболее полное отражение в этом комплексе. Приведены зависимости напряжений и деформаций бетона при растяжении и сжатии, а также кривые параметров поврежденности бетона для использования в Abaqus. Корректность предложенных моделей проверена в сравнении с результатами экспериментальных исследований.

Ключевые слова: железобетон, нелинейный численный анализ, Abaqus, сцепление арматуры и бетона.

UDC 69.04. Method for analysis the interaction of concrete and reinforcement of reinforced concrete structures in the Abaqus. Kvasnikov A.A., Kucherenko TSNIISK.

Simulation and numerical analysis of the interaction of concrete and reinforcement using three-dimensional finite elements; taking into account the nonlinear of materials. The description of the parameters affecting the modeling of reinforced concrete. To simulate reinforced concrete, when performing calculations, the Abaqus software package was used with a concrete damaged plasticity model, which was most fully reflected in this software. The dependences of the stress and strain of concrete under tension and compression, as well as curves of parameters of concrete damage for use in Abaqus are given. The consistency of the proposed constructive and destructive models has been tested in comparison with the results of experimental studies.

Key words: reinforced concrete, nonlinear numerical analysis, Abaqus, bond of reinforcement in concrete.

Ю.М.СТРЕЛКОВ¹, инж., О.В.РАДАЙКИН², к.т.н., Л.С.САБИТОВ³, к.т.н., И.Л.КУЗНЕЦОВ², д.т.н. ¹Казанский федеральный университет, ²Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ³Казанский государственный энергетический университет СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТАЛЬНЫХ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОПОРА-ФУНДАМЕНТ ГРУНТ ОСНОВАНИЯ...71

Целью работы ставилось провести сравнительный анализ статической работы двух конструктивных типов стальных опор линий электропередач (ВЛЭП): в виде стержней-оболочек замкнутого профиля с переменной по высоте толщиной стенки и в виде решетчатой трехгранной конструкции, изготавливаемой по патенту [1]. При этом оба типа опор рассматривались для трех разных высот – под линии электропередач на 10 кВ – высотой 9—11 м, 35 кВ – высотой 20,6 м и 110 кВ – высотой 22,5 м соответственно. Основная часть исследований проведена в ПК «ANSYS», где рассматривалась совместная работа конструктивной системы «стальная опора воздушной линии электропередачи – сборно-разборный железобетонный фундамент нового типа [2] – грунт основания». Для этого авторами предложена методика компьютерного моделирования, которая учитывает пространственную работу элементов конструктивной системы и физическую нелинейность материалов, из которых они изготовлены. При этом для стали была использована теория прочности Мизеса, для бетона – Вильямса — Варнаке, для грунта основания – Друкера — Прагера. Кроме того, все необходимые геометрические, силовые и физические характеристики модели были получены на основе действующих строительных Норм проектирования объектов энергетики. Вспомогательные инженерные расчеты с учетом этих Норм выполнены в ПК «ЛИРА»САПР 2017» в линейной постановке.

Ключевые слова: железобетонный фундамент, многогранная стальная опора, трехгранная решетчатая опора, воздушная линия электропередач.
UDC 624.012. Comparative analysis of static behavior of various types of power lines steel supports on the basis of computer modeling of the system «Support – Foundation – Ground base» in the «ANSYS» and «Lira-CAD 2017»
Strelkov Yu.M.¹, Radaykin O.V.², Sabitov L.S.^{1,3}, Kuznetsov I.L.²; ¹Kazan Federal University, ²Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, ³Kazan State Energy University
The aim of the work was to conduct a comparative analysis of the static behavior of two structural types of power lines steel supports: in the form of rods-shells of a closed profile with a variable wall thickness in height and in the form of a three-sided lattice structure manufactured under the patent [1]. While both types of supports were considered for three different heights of the lines at 10 kV with a height of 9–11 m, 35 kV – with a height of 20.6 m and 110 kV with a height of 22.5 m, respectively. The main part of the research was carried out in the PC «ANSYS», which considered the joint work of the structural system «steel support of the overhead power line – collapsible reinforced concrete Foundation of a new type [2] – ground base». For this purpose, the authors propose a method of computer modeling, which takes into account the spatial work of the structural elements of the system and the physical nonlinearity of the materials from which they are made. At the same time, the strength theory of Mises was used for steel, for concrete – Williams–Varnak, for the soil of the base – Drucker–Prager. In addition, all the necessary geometric, power and physical characteristics of the model were obtained on the basis of the current building design Standards of energy facilities. Auxiliary engineering calculations subject to these Rules executed in PC «LIRA-SAPR 2017» in linear statement.
Key words: reinforced concrete foundation, multi-faceted steel support, trihedral lattice support, overhead power line.

№ 2 за 2019 год

Нелинейные расчеты

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
АПРОКСИМАЦИИ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БИЛИНЕЙНЫМИ ФУНКЦИЯМИ...2

Рассматриваются вопросы аппроксимации диаграмм объемного $\sigma \approx \varepsilon$ и сдвигового $T \approx \Gamma$ деформирования при помощи билинейных функций методом наименьших квадратов, а также вопросы нахождения оптимального расположения точки перегиба на билинейном графике. Показано, что для полиномиального представления аппроксимируемой функции коэффициенты аппроксимирующих полиномов первого порядка имеют простую линейную структуру; при этом коэффициенты аппроксимируемой функции выходят за знак суммирования. Абсцисса точки перегиба билинейного графика находится из условия пересечения аппроксимирующих кривых с использованием итерационного алгоритма. В качестве примера рассмотрены три математических модели, описывающих механическое поведение сплошной среды: теория малых упругопластических деформаций, деформационная теория пластичности сыпучей среды Г.А. Гениева, модифицированная деформационная теория пластичности сыпучей среды, для которых замыкающие уравнения представляются в виде степенных полиномов соответственно второго, четвертого и шестого порядка. Численные расчеты показали быструю сходимость итерационного алгоритма для определения абсциссы точки перегиба билинейного графика, как для объемного, так и для сдвигового деформирования для всех трех математических моделей. При этом билинейные графики практически совпали с исходными аппроксимируемыми кривыми. Полученные результаты могут найти применение при аппроксимации замыкающих уравнений для объемного и сдвигового деформирования билинейными функциями для сплошных сред, описываемых математическими моделями с учетом как физической, так и геометрической нелинейности.

Ключевые слова: билинейная аппроксимация, метод наименьших квадратов, математические модели, замыкающие уравнения, сплошная среда.

UDC 519.633. **Approximations of warp diagrams using bilinear functions.** Bakushev S.V. Penza State University of Architecture and Construction

Under analysis there are questions of diagram approximation of volumetric $\sigma \approx \varepsilon$ and shearing $T \approx \Gamma$ straining with the help of bilinear function by least square method, and also questions of determining of flex point optimal placement in bilinear diagram. It was shown, that for polynomial presentation of approximated function, polynomial approximant coefficients of the first order have simple linear structure; whereas coefficients of approximable function are overrun summation sign. Flex point abscissa of bilinear diagram is determined from the condition of approximation curves crossing with the use of iteration algorithm. As an example under study there have been three mathematical models, describing mechanical behavior of continuum: small elastoplastic strain theory, G.A.Geniev's deformation theory of loose medium plasticity, modified deformation theory of loose medium plasticity, where closing equations are presented in the way of exponential polynomials of the second, fourth and sixth order accordingly. Numeric calculations have shown quick convergence of iteration algorithm for determination of flex point abscissa of bilinear diagram, both for volumetric and shearing straining for all three mathematic models. Whereas, bilinear diagrams are practically the same as original approximation curves. The results of this article can find their implementation at the approximation of closing equations for volumetric and shearing straining by bilinear functions for continuum, described by mathematical models with the regards to both physical and geometrical nonlinearity.

Key words: bilinear approximation, least square method, mathematical models, closing equations, continuum.

С.В. БОСАКОВ¹, д.т.н., проф., О.В. КОЗУНОВА², к.т.н., доц., ¹РУП «Институт БелНИИС», г.Минск, ²БелГУТ, г.Гомель, Республика Беларусь
МЕТОД ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В РАСЧЕТАХ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРА...12

Разработана методика расчета системы перекрестных балок на упругом основании Винклера под действием внешней нагрузки. Методика основана на методе перемещений, который ранее почти не использовался для расчета конструкций на упругом основании. Так как основная система метода перемещений представляет совокупность однопролетных и консольных балок, то предлагается составить таблицы расчета таких балок на упругом основании Винклера с различными опорными закреплениями на действие единичных линейных и угловых смещений опор и внешней нагрузки. Для этого используется известное решение дифференциального уравнения изгиба и кручения балки на упругом основании. Показана последовательность определения реактивных усилий на примере балки с двумя заземленными концами, один из которых получает единичное линейное перемещение. Отдельно решена задача об учете действие крутящих моментов при определении коэффициентов канонических уравнений метода перемещений для системы перекрестных балок. Рассмотрен пример расчета симметричной системы перекрестных балок на действие симметрично приложенной сосредоточенной силы.

Ключевые слова: метод перемещений, система перекрестных балок, основание Винклера.

UDC 624.13. **The displacement method in calculations of cross-beam system on Winkler's elastic foundation.** Bosakov S.V., Institute BelNIIS, Minsk; Kozunova O.V., BelGUT, Gomel, Belarus

The method of calculating the system of cross beams on Winkler's elastic base under external load is developed. The technique is based on the method of displacements, which was previously hardly ever used for the calculation of structures on an elastic foundation. Since the basic system of the displacement method is a set of single-span and cantilever beams, it is proposed to create a table of calculation of such beams on the elastic base of Winkler with different support anchorages at the action of single linear and angular displacements of props and external load. For this purpose, the well-known solution of the differential equation of bending and torsion of a beam on an elastic base is used. The sequence of determination of reactive forces is shown on the example of a beam with two pinched ends, when one of which gets a single linear displacement. Separately, the problem of taking into account the action of torques in determining the coefficients of the canonical equations of displacement method for a system of cross beams is solved. An example of calculation of the symmetric system of cross beams on the action of symmetrically applied concentrated force is given.

Key words: method of displacements, system of cross beams.

В.И. КОЛЧУНОВ, д.т.н., проф., иностранный член РААСН, А.И. ДЕМЬЯНОВ, к.т.н., доц., М.М. МИХАЙЛОВ, инж. Юго-Западный государственный университет, г. Курск
РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МОМЕНТ РАЗРУШЕНИЯ СЖАТОГО БЕТОНА ПРИ КРУЧЕНИИ С ИЗГИБОМ...17

Предлагается ввести статико-динамические модели деформирования второго уровня при сложном напряженно-деформируемом состоянии кручения с изгибом в момент разрушения сжатого бетона с учетом импульсного воздействия в виде представительных объемов бетона, вырезанных из железобетонной конструкции, подверженной сжатию со сдвигом в окрестности сжатой зоны бетона, прилегающей к пространственной трещине. При этом в сечениях, предназначенных для вырезания предлагаемых моделей второго уровня, влияние внутренних напряжений учитывается через специально построенную расчетную модель первого уровня, моделирующую пространственное сечение с возникающими в нем внутренними усилиями. Таким образом, это влияние проявляется в представительном объеме через такие параметры как расстояние между пространственными трещинами, напряжение в рабочей арматуре пересекаемой пространственной трещиной в стадии III, а также в определении нормальных и сдвигающих деформаций (напряжений) бетона, попадающих в представительный объем. Построены основные рабочие гипотезы. Получены аналитические зависимости для определения деформаций в бетоне сжатой зоны, которые возникли бы в этой системе, если бы переход n-системы в систему (n – 1) осуществлялся в результате мгновенного разрушения сжатой зоны представительного объема в сечении k.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, кручение с изгибом, расчетные модели, сжатый бетон, представительный объем, статико-динамическое деформирование, импульсное воздействие, разрушение.

UDC 624.012.45. **The calculation models static and dynamic deformation of a system of reinforced concrete structures during the moment of the ABSTRACTS destruction of the compressed concrete in torsion with bending.** Kolchunov V.I., Demyanov A.I., Mikhailov M.M., South-West State University, Kursk.

The article proposes to introduce static-dynamic models of deformation of the second level in a complex stress-strain state of torsion with bending at the time of destruction of compressed concrete, taking into account the impulse effect in the form of representative volumes of concrete cut from a reinforced concrete structure subjected to compression with shear, in the vicinity of the compressed zone of concrete adjacent to the spatial crack. At the same time, in the sections made for cutting out the proposed models of the second level, the influence of internal stresses is taken into account through a specially constructed computational model of the first level, modeling the spatial cross section with the internal forces arising in it. Thus, this effect is manifested in a representative volume, through such parameters as the distance between the spatial cracks, the stress in the working reinforcement intersected by the spatial crack in stage III, as well as in the determination of normal and shear deformations (stresses) of concrete falling into a representative volume. The main working hypotheses are constructed. Analytical dependences are obtained to determine the deformations in the concrete of the compressed zone that would occur in this system if the transition of the n-system to the system (n – 1) was carried out as a result of instantaneous destruction of the compressed zone of the representative volume in the section k.

Key words: reinforced concrete structures, torsion with bending, calculation models, compressed concrete, representative volume, static-dynamic deformation, impulse action, destruction.

В.Л. ХАРЛАНОВ, д.т.н., С.В. ХАРЛАНОВА, к.т.н. ИАиС ВолГТУ, г. Волгоград
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ КОНЕЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ...27

Моделирование бетона конечными элементами затруднено в связи с двумя факторами: наличием ниспадающей ветви диаграммы состояния и существенным различием пределов прочности при одноосном и трехосном сжатии. Авторами предложен алгоритм, позволяющий реализовать преодоление этих трудностей. Выполнено моделирование разрушения железобетонной балки. В качестве скелетной диаграммы выбрана диаграмма состояния с явным разделением пластических и упругих деформаций. Выявлены области разрушения бетона балки при достижении предельных деформаций. Предложенная модель эквивалентных напряжений наиболее полно отражает НДС бетона и может быть применена для численного анализа железобетонных конструкций методом конечных элементов.

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

UDC 624.012.41:519.3. **Simulation of bending of reinforced concrete beams with finite elements.** Kharlanov V.L., Kharlanova S.V., Volgograd State Technical University

Modeling of concrete by finite elements is complicated due to two factors: the presence of a descending branch of the state diagram and a significant difference in the strength limits under uniaxial and triaxial compression. The authors propose an algorithm to implement the overcoming of these difficulties. The modeling of destruction of reinforced concrete beams is performed. A state diagram with an explicit separation of plastic and elastic deformations was chosen as a skeletal diagram. The areas of destruction of concrete beams when reaching the limit of deformation. The proposed model of equivalent stress best reflects VAT of concrete and can be applied for numerical analysis-lesoptomnik structures by finite element method.

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

Б.Г. ХОЛОДАРЬ, к.т.н. Брестский государственный технический университет

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЯМОГО УПРУГОГО СТЕРЖНЯ...30

Рассмотрена задача динамики продольно-поперечного изгиба стержня при действии осевой нагрузки, приложенной с эксцентриситетом и возрастающей пропорционально времени. Механическая система сведена к одноомасовой модели. Проведено варьирование параметрами системы и условиями нагружения.

Ключевые слова: потеря устойчивости, колебания, критическая нагрузка, время нагружения.

UDC 539.3:534.1. Description of the process of stability loss of straight elastic bar. Kholodar B.G., Brest State Technical University.

Considered is a problem of the dynamics of transverse-longitudinal bending of a bar under an axial load. The load is applied with eccentricity and is growing in time linearly. The mechanical system is reduced to an equivalent single mass model. The system parameters and loading conditions are varied.

Key words: loss of stability, vibrations, critical load, loading time.

Л.С. ПОЛЯКОВА, инж., В.И. АНДРЕЕВ, д.т.н. НИУ МГСУ, г. Москва

РАСЧЕТ ТРЕХСЛОЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ И НЕПРЕРЫВНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ...36

Рассмотрена задача определения напряженно-деформированного состояния толстостенной цилиндрической оболочки, шарнирно закрепленной по ободу вблизи торцов, подверженной температурному воздействию. Оболочка состоит из трех слоев: два слоя из жаростойкого бетона и стальной наружной слой. В расчете учитывается непрерывная неоднородность материалов, вызванная стационарным температурным полем, а также нелинейный характер деформирования бетона. Нелинейная задача с переменными параметрами упругости E и ν решалась методом последовательных приближений, описанном в [1].

Ключевые слова: упругость, нелинейность, неоднородность, трехслойная оболочка, температурное поле.

UDC 539.3. Calculation of the three-layer cylindrical shell of final length with account of nonlinearity and continuous inhomogeneity. Polyakova L.S., Andreev V.I., Moscow State University of Civil Engineering.

The article deals with the problem of determining the stress-strain state of thick-walled cylindrical shell hinged on the rim near the ends, exposed to temperature effects. The shell consists of three layers: two layers of heat-resistant concrete and steel outer layer. The calculation takes into account the continuous inhomogeneity of materials caused by the stationary temperature field, as well as the nonlinear nature of the deformation of concrete. The nonlinear problem with variable elastic parameters E and ν was solved by the method of successive approximations described in [1].

Key words: elasticity, nonlinearity, inhomogeneity, three-layer shell, temperature field.

[Расчеты на прочность](#)

А.Л. МЕДВЕДСКИЙ¹, д.физ.мат.н., доц., М.И. МАРТИРОСОВ², к.т.н., доц., А.В. ХОМЧЕНКО³, инж. ¹Центральный Аэрогидродинамический Институт им.проф. Н.Е.

Жуковского, ²Московский авиационный институт, ³ПАО «Корпорация «Иркут»

ПОВЕДЕНИЕ ПОЛОГОЙ КОМПОЗИТНОЙ ПАНЕЛИ С ВНУТРЕННИМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НАГРУЗКИ...43

Рассматривается задача численного моделирования поведения и разрушения пологой панели из полимерного композиционного материала (ПКМ) при наличии внутренних повреждений под воздействием нестационарной нагрузки.

Ключевые слова: пологая панель, критерии разрушения, полимерный композиционный материал, нестационарная нагрузка, численное моделирование, метод конечных элементов (МКЭ).

UDC 624.016. Behavior of a shallow composite panel with internal damage under the action of a nonstationary load. Medvedsky A.L., Central Aerohydrodynamic Institute of N.E. Zhukovsky, Martirosov M.I., Moscow Aviation Institute, Khomchenko A.V., Irkut Corporation PJSC.

Consider problem of behavior and failure numerical modeling of flat panel from polymer composite material (PCM) with presence internal damage under action of nonstationary load.

Key words: flat panel, failure criteria, polymer composite material, nonstationary load, numerical modeling, finite element method.

[Вероятностные расчеты](#)

В.А. ГРОМАЦКИЙ, к.т.н. ЦНИИСК им.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

О ДОВЕРИТЕЛЬНОМ ОЦЕНИВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ...48

Приведены аналитические зависимости между биномиальными доверительными пределами вероятности отказа и вероятности безотказной работы элемента, а также формулы верхних пуассоновских доверительных пределов применительно к расчету надежности конструкций. Приведены примеры.

Ключевые слова: вероятность отказа, доверительный интервал, доверительные пределы, доверительная вероятность.

UDC 624.012.2.046.69.04. About confidential evaluation of reliability indicators. Gromatsky V.A., Koucherenko TSNIISK, Moscow.

Analytical dependencies between the binomial confidence limits of the failure probability and the probability of the element failure-free operation, as well as the formulas of the upper Poisson confidence limits for the calculation of the reliability of structures are given. Examples are given.

Key words: probability of failure, confidence interval, confidence limits, confidence level.

А.Ю. КОНОВАЛОВ, к.т.н., М.А. ПУСТОВАЛОВА, к.т.н., доц. Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск

АНАЛИЗ РАБОТЫ 3D МОДЕЛИ ВИСЯЧЕГО МОСТА Часть 3. РАБОТА ВИСЯЧЕГО МОСТА, ОСНАЩЕННОГО АКТИВНЫМИ ГАСИТЕЛЯМИ КОЛЕБАНИЙ...53

В качестве средства управления колебаниями висячего моста авторами рассмотрено применение активных гасителей колебаний, установленных на вершинах пилонов. Исследована плоская 3D модель висячего моста в программном комплексе ANSYS. Сравнивалось напряженно-деформированное состояние и динамические характеристики моделей, оснащенных и не оснащенных активными гасителями колебаний.

Ключевые слова: висячий мост, активные гасители, модальный анализ, усилия, перемещения, ANSYS.

UDC 624.521. Analysis of the work of a flat 3D model of a suspension bridge. Part 3. Work suspension bridge, equipped with active vibration dampers. Kononov A.Yu., Pustovalova M.A., Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk

This paper addresses the use of active dampers installed on the tops of the towers as the means to control vibrations of a suspension bridge. To this end, a planar 3D model of suspension bridge was built using ANSYS software. The authors compared stress-strain behavior and dynamic properties of the models with and without active vibration dampers.

Key words: suspension bridge, active dampers, modal analysis, stress, deformation, ANSYS.

[Динамические расчеты](#)

В.Б. ЗЫЛЕВ, д.т.н., проф., Н.А. ГРИГОРЬЕВ, к.т.н., И.В. АЛФЕРОВ, к.т.н. (Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва)

ОБ УСКОРЕНИЯХ ТОЧЕК УПРУГИХ ТЕЛ ПРИ СОУДАРЕНИЯХ...59

Рассматривается задача о соударении упругих тел. Из аналитического решения для соударения двух стержней при использовании континуальной расчетной схемы следует, что на фронте волны сжатия скорости точек меняются скачкообразно, что соответствует бесконечно большому значению ускорения. Численное решение при использовании дискретной расчетной схемы дает лишь весьма большое значение ускорения, которое растет с увеличением густоты сетки. Делается вывод о том, что рассматриваемый парадокс со значениями ускорений по существу не получает исчерпывающего решения ни в континуальной, ни в дискретной расчетной схемах.

Ключевые слова: соударение упругих тел, бесконечно большое ускорение, континуальная расчетная схема, дискретная расчетная схема.

UDC 624.04:004. About the acceleration of points of elastic bodies in collisions. Zylev V.B., Grigoriev N.A., Alferov I.V., Russian University of Transport (MIIT), Moscow.

The problem of collision of elastic bodies is considered. From the analytical solution for the collision of two rods using a continual computational scheme, it follows that at the compression wave front, the speeds of the points change abruptly, which corresponds to an infinitely large acceleration value. A numerical solution using a discrete computational scheme gives a very large value of acceleration, which increases with increasing grid density. It is concluded that the paradox under consideration with the values of accelerations in essence does not receive an exhaustive solution either in the continual or in the discrete computational schemes.

Key words: collision of elastic bodies, infinitely large acceleration, continuous design scheme, discrete design scheme.

И.И. ИВАНЧЕНКО, д.т.н., проф. (РУТ МИИТ, г. Москва)

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ВЕЛИЧИНЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ У МОСТОВОЙ КОНСТРУКЦИИ (к формированию норм для ВСМ)...62

Для оценки величины динамического воздействия колесных пар высокоскоростных составов на мосты рассматривается задача о движении груза по комбинированной балке, состоящей из двух стержней, связанных между собой по длине упруговязкой прослойкой. Для решения задачи используются шаговая процедура и метод узловых ускорений, предложенные ранее автором для учета действия на пролетные строения мостов подвижной инерционной нагрузки. Проведенные числовые эксперименты, указывают на необходимость при динамическом расчете подвижного состава на ВСМ выбирать расчетную схему для системы «вагон – рельс – пролетное строение» с учетом полных вертикальных и поперечных ускорений точек контакта колесных пар и рельсов при движении вагонов.

Ключевые слова: колебания стержней и мостов, скоростное движение грузов, полное вертикальное ускорение грузов, шаговые процедуры, верхнее строение пути.

UDC 624.07.534. The study of dynamic impact value of high-speed moving load regarding rail way bridge construction (to the Rules for high speed railways). Ivanchenko I.I., Russian University of Transport (MIIT), Moscow.

To estimate the magnitude of the dynamic impact of wheel pairs of high-speed trains on the bridges the article considers the problem of the movement of loads on a beam consisting of two rods interconnected along by the elastic-viscous layer. To solve the problem, the step procedure and the method of nodal accelerations proposed earlier by the author are used taking into account the action of the mobile inertial load on spans of bridges. The carried out numerical experiments indicate the need for dynamic calculation of rolling stock on high-speed railway to choose the design scheme for a system "wagon-rail-span structure" taking into account the full vertical and transverse accelerations of contact points of wheel pairs and rails when moving wagons.

Key words: oscillations of rods and bridges, high-speed movement of loads, full vertical acceleration of loads, step procedures, upper structure of railway.

[В помощь проектировщику](#)

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доц. Филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПЛОСКООВАЛЬНЫХ ТРУБ ДЛЯ ФЕРМЕННЫХ И БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...68

Представлено новое техническое решение полуплоскооальной трубы с одной полукруглой гранью, двумя стенками, одной полкой и внутренним ребром, расположенным по середине полукруглой грани параллельно стенкам и сформированном сваркой отогнутых кромок листовой заготовки. Полукруглое сопряжение параллельных стенок на одной стороне и их прямоугольные сопряжения с полкой на другой стороне увеличивают конструктивно-компоновочные возможности полуплоскооальной трубы в стержневых элементах ферменных и балочных конструкций. Приведен расчет оптимальных параметров тонкостенных сечений полуплоскооальной формы с внутренним ребром и без такого ребра по приближенной методике, корректность которой подтверждена тестированием с использованных стандартных профилей. По результатам расчета в элементе, равноустойчивом из плоскости и в плоскости ферменной конструкции, при отношении габаритных размеров профиля 1/1 высота ребра равна 0,0288 одного из габаритных размеров. В элементе балочной конструкции момент сопротивления его сечения в силовой плоскости оптимизирован за счет того, что ордината центра тяжести составляет полувысоту профиля при отношении его габаритных размеров 1/3,064 и высоте ребра, равной 0,2468 меньшего из габаритных размеров. Выполнен сравнительный анализ расчетных параметров полуплоскооальных, круглых, плоскооальных, квадратных и прямоугольных профилей, основные результаты которого подтверждают перспективность применения полуплоскооальных труб новой модификации в несущих конструкциях зданий и сооружений.

Ключевые слова: профильные трубы, гнутосварные профили, полуплоскооал, оптимизация сечений, расчет оптимальных параметров, ферменные конструкции, балочные конструкции.

UDC 624.072.2.014. Calculation of optimal parameters of semiplanar pipes for truss and beam structures. Marutyán A.S., Branch of North Caucasus Federal University in Pyatigorsk.

Key words: profile tubes, welded profiles, half-planed, optimization of sections, calculation of optimal parameters, truss structures, beam structures.

Нормирование

О.И. ПИНОМАРЕВ¹, к.т.н., **Е.А. ПАВЛОВА²**, инж.¹ **АО«НИЦ«Строительство» ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко**, ²**ООО «Крилак»**

О ТЕРМИНОЛОГИИ В НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ ПО КИРПИЧНЫМ И КАМЕННЫМ КОНСТРУКЦИЯМ И ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОДА НА АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК...74

Приведен анализ применения широко известных терминов – кирпич, камень, блок – и особенности их перевода на английский язык. Отмечается, что принятые в российской технической литературе обобщенный термин «камень» неудачен, так он обозначает конкретное изделие – природный камень и при переводе на английский язык этот термин не соответствует принятым в зарубежной технической литературе обобщенному термину «unit». По результатам проведенного анализа предлагается корректировка терминологии, принятой в области каменных и армокаменных конструкций армированной и неармированной кладки.

Ключевые слова: кладка, каменные конструкции, кирпич, блок, masonry, unit.

UDC 691. The terminology in the field of brick and masonry structures and the features of English translation. Ponomarev O.I., Koucherenko TSNIISK; Pavlova E.A., LLC «Krilak».

The article presents the analysis of the use of well-known terms — brick, stone, block and the features of their translation into English. It is noted that the generalized term «stone» accepted in the Russian technical literature is extremely inconvenient as it denotes the specific product – natural stone and when translated into English this term does not correspond to the generalized term «unit» accepted in the foreign technical literature. According to the results of the analysis the correction of the terminology adopted in the field of stone and reinforced stone structures of reinforced and nonreinforced masonry is proposed.

Key words: masonry, stone structures, brick, block, unit.

№ 3 за 2019 год

Расчеты на прочность

И.И.ВЕДЯКОВ¹, д.т.н., **К.П.ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ¹**, д.т.н., **М.С.ПАРЕВ²**, инж. (¹ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО«НИЦ «Строительство»), ²Институт природообустройства им.А.Н.Костякова, г.Москва)

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА МОМЕНТА ИНЕРЦИИ И РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНЫХ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК...2
Предложена новая инженерная методика расчета момента инерции поперечных ребер под воздействием касательных напряжений на основании теории С.П. Тимошенко. Установлена зависимость сечения поперечных ребер жесткости от толщины стенки и длины панели балки. Предложенный подход определения ширины ребра существенно отличается от эмпирического решения по действующим нормам проектирования и отражает связь между теорией и инженерным решением в вопросе подбора сечения промежуточных поперечных ребер жесткости. Приведены формулы для расчета момента инерции и ширины промежуточных поперечных ребер жесткости при чистом сдвиге. В зависимости от сечения стенки, длины панели балки возможно снижение массы поперечных ребер применительно к существующим нормам проектирования.

Ключевые слова: металлические конструкции, поперечное ребро жесткости, устойчивость стенки, чистый сдвиг, ширина ребра, двутавровая балка, нормы проектирования.

Strength calculations

UDC 624.01.25. Engineering calculation method for determination of inertia moment and dimensions of cross stiffeners of Ibeams. Vedyakov I.I., Pyatikrestovskiy K.P., Kucherenko TSNIISK; Tsarev M.S., Institute of Environmental Engineering by A.N. Kostyakov, Moscow.

The article proposes the new engineering method on the basis of S.P. Timoshenko theory for calculating the inertia moment of cross ribs under shearing stresses. The dependence of stiffener's cross-section on the wall thickness and length of a beam panel is established. The proposed approach for determining the rib width differs significantly from the empirical solution according to the current design standards and reflects the relationship between the theory and the engineering solution in respect of selection of cross-sections of intermediate cross ribs. The calculation formulas for the inertia moment and the width of intermediate cross stiffeners at pure shear are given. Depending on the cross-section and the length of the beam wall panel it is possible to reduce the weight of cross ribs in relation to the existing design standards.

Key words: metal structures, cross stiffener, wall resistance, pure shear, width of rib, design standards.

А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., проф. Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г. Киев, Украина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...8

Представлена методика проектирования заданного срока эксплуатации конструкций или сооружений. Их свойства ухудшаются с течением времени вследствие коррозии стали и железобетона. Срок службы считается исчерпанным, если несущая способность оказывается ниже заданного уровня. Для оценки несущей способности применен кинематический метод теории предельного равновесия. Деградация несущих свойств описывается степенной функцией. Рассмотрен пример – проектирование заданного срока службы коробчатой железобетонной водопропускной трубы в насыпи автомобильной дороги. Возможна коррозия только наружной, только внутренней или одновременно обеих поверхностей трубы. Проектирование заданного срока службы представлено последовательностью решений задач поверочного расчета. Даны рекомендации относительно построения такой методики проектирования.

Ключевые слова: срок службы сооружения, деградация несущих свойств, проектирование срока службы.

UDC 624.04:539.376. On planning of exploitation time duration of building structures. Dekhtyar' A.S., National Academy of Fine Arts and Architecture, Kiev, Ukraine.

The method of planning of the set term of exploitation for structures or buildings is presented. Their properties in time get worse because of corrosion of steel and reinforced concrete. The term of service is considered exhausted, if load carrying capacity turns out the below set level. The kinematical method of limit equilibrium theory for estimation of bearing capacity applied. Degradation of bearing properties is described by a sedate function. Example – planning of the set service term of of box-shape reinforced concrete culvert in the embankment of highway is considered. Corrosion only outward, only internal or simultaneously both surfaces of pipe is possible. Planning of the set service term is presented as a sequence of tasks solutions of test computations Recommendations relative to create of such planning method of are given.

Key words: service time duration, worsening of building structures, corrosion Exploitation time planning.

Б.В.ЛАБУДИН, д.т.н., проф., **В.С.МОРОЗОВ**, д.т.н., проф., **Е.В.ПОПОВ**, к.т.н., **Т.А.НИКИТИНА**, инж., **А.О.ОРЛОВ**, инж. Северный федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск

СОПРОТИВЛЕНИЕ КЛЕЕНОЙ ДРЕВСИНЫ РАСТЯЖЕНИЮ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ УГЛАМИ К НАПРАВЛЕНИЮ ВОЛОКОН...12

Приведены результаты исследований клееной древесины на растяжение под различными углами к волокнам. Определение расчетных характеристик клееной древесины производилось путем проведения испытаний стандартных образцов с последующим вычислением расчетного сопротивления. Установлено, что угол между направлением волокон и вектором прикладываемого усилия α в значительной мере влияет на сопротивление растяжению, так же значение имеет сорт древесины, но его влияние уменьшается по мере увеличения угла α от 0 до 90°. Выполнено сопоставление экспериментальных значений с теоретическими, приведенными в действующих нормах — СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции». Представлены более точные аппроксимирующие выражения экспериментов, которые могут быть использованы на практике.

Ключевые слова: древесина, клееные деревянные конструкции, анизотропия, эксперимент, растяжение, стандартные образцы, предел прочности, расчетное сопротивление.

UDC 624.078.4: 624.011.2. The resistance of laminated wood to tension at different angles of the orientation of the fibers. Labudin B.V., Morozov V.S., Popov E.V., Nikitina T.A., Orlov A.O. Northern (Arctic) Federal University M.V. Lomonosov, Arkhangelsk.

The results of studies of laminated wood tensile at different angles to the orientation of the fibers are given. The results of calculations are determined with testing of standard samples for design strength according to the method of EM. Znamensky. It is established that the angle between fiber orientation and vector of the applied force β is influenced a lot by the tensile strength and depends on the sort of wood. The value of tensile strength is decreased when the angle vary from 0 to 90°. Experimental values are compared with theoretical results which are given in current standards — Set of Rules 64.13330.2017 «Wooden structures». The difference between theoretical and standard results is 4—236 %. More accurate approximating expressions of experiments are presented, which can be used in practice instead of formula (6) from Set of Rules.

Key words: wood, glued wooden structures, anisotropy, experiment, stretching, standard samples, tensile strength.

А.А. МИНАСЯН, инж. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва

КОЭФФИЦИЕНТЫ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ АРМАТУРЫ И БЕТОНА КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ В СТАДИИ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ...18

Для выполнения расчетов по определению несущей способности железобетонных плит в стадии трещинообразования учитывается работа бетона между трещинами в растянутой зоне. В данной работе приведены результаты натурных испытаний сборных железобетонных плит перекрытий для определения коэффициентов В.И. Мурашева – неравномерности деформаций арматуры s ψ в зоне растяжения и бетона b ψ в зоне сжатия для коррозионно-поврежденных плит в стадии трещинообразования.

Ключевые слова: неравномерность деформаций арматуры и бетона, коэффициент упругости бетона, коррозионно-поврежденные железобетонные плиты.

UDC 624.042.12. Coefficients of the irregularity of the deformation of the reinforcement and the concrete of corroded-damaged reinforced concrete slabs of the intersection. Minasyan A.A., Kucherenko TSNIISK, Moscow. To perform calculations to determine the load-bearing capacity of reinforced concrete slabs in the cracking stages, it is necessary to take into account the work of concrete between cracks in the stretched zone. In this paper, we show the results of full-scale tests of prefabricated reinforced concrete slabs to determine the Murashev coefficients — the unevenness of the deformations of the reinforcement ψ s in the stretching zone and the concrete ψ b in the compression zone for corrosion-damaged plates in the cracking stage.

Key words: Unevenness of deformations of reinforcement and concrete, coefficient of elasticity of concrete, corrosion-damaged reinforced concrete slabs.

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

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОГО ПРОГИБА НА НДС НЕРАЗРЕЗНОЙ ГИБКОЙ ПЛАСТИНЫ, ПОДКРЕПЛЕННОЙ ОПОРНЫМИ РЕБРАМИ ПРИ НАГРЕВЕ...23

Рассматривается напряженно-деформированное состояние гибких неразрезных пластин (отношение меньшего размера в плане к толщине – $\lambda = a/h = 50$), выполненных из жаропрочного материала ВТ6. Размеры пластин: $a \times b \times h = 50 \times 100 \times 1$ см. Граничные условия пластин: продольные кромки шарнирно закреплены, поперечные кромки опираются на ребра жесткости 2×4 см. Пластины разделены на панели в поперечном направлении шарнирно неподвижным закреплением. Начальные прогибы заданы в виде синусоиды. Максимальный начальный прогиб расположен в центре пластины и сравним с ее толщиной: 0; $h/2$; h . Пластина находится под воздействием нагрева. Температура распределена в продольном направлении по линейной зависимости. Учитывается возникающая неоднородность от изменения механических свойств термоупругого сплава от величины температуры. Напряженное состояние в работе характеризуется интенсивностью напряжений, а деформированное состояние — прогибами. По результатам расчета, приведены выводы.

Ключевые слова: пластина, начальный прогиб, геометрическая нелинейность, нагрев, зависимость механических свойств от величины температуры, неоднородность.

UDC 7.04:535.4.011.22.23. Effect of primary bending on vat undisceded flexible plate strengthened by supported ribs when heating. Moisenko M.O., Popov O.N., TSUAB, Tomsk.

The stress-strain state of flexible continuous plates (the ratio of smaller in plan to thickness $\lambda = a / h = 50$) made of heat-resistant material VT6 is considered. Plate sizes: $a \times b \times h = 50 \times 100 \times 1$ cm. The boundary conditions of the plates: the longitudinal edges are hinged, the transverse edges rest on stiffening ribs 2×4 cm. The plates are divided into panels in the transverse direction by pivotally fixed fastening. The initial deflections are given in the form of a sinusoid. The maximum initial deflection is located in the center of the plate and is comparable to its thickness: 0; $h / 2$; h . The plate is under the influence of heat. The temperature is distributed in the longitudinal direction in a linear relationship. The reflecting inhomogeneity from the change in the mechanical properties of the thermoelastic alloy against the temperature value is taken into account. The stress state at work is characterized by stress intensity, and the deformed state — by deflections. According to the results of the calculation, conclusions are given.

Key words: plate, initial deflection, geometric nonlinearity, heating, dependence of mechanical properties on temperature, inhomogeneity.

Численные расчеты

Е.И. БРИТВИН, канд. физ.мат. наук (ГУВЗ ПГАСА, г. Днепр, Украина)

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСЧЕТНЫХ ДЛИН СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАМНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИСТЕМ...31

Построен эффективный вычислительный алгоритм, позволяющий находить расчетные длины стержневых элементов рамных конструкций. Для каждого элемента формируется матрица реакций со стороны отбрасываемой части системы и, с учетом этих реакций, решается задача о собственных значениях уравнения продольного изгиба стержня. При поиске собственных значений напряженное состояние системы фиксируется. Решение точное. Продемонстрировано высокое быстродействие алгоритма.

Ключевые слова: устойчивость, устойчивость стержневых систем, расчетная длина, свободная длина, проверка локальной устойчивости.

Numerical calculations

UDC 624.044. To the question on the determination of the buckling lengths of the rod elements of the frame space systems. Britvin E.I., GUVZ PGASA, Dnepr, Ukraine.

An efficient computational algorithm was constructed, which allows to find the buckling lengths of the rod elements of frame structures. A matrix of reaction from the side of the dropped part of the system is formed for each element and the problem of the eigenvalues of longitudinal bending equation of the rod is solved. When searching for eigenvalues, the stress state of the system is fixed. The solution is exact. High speed of algorithm is demonstrated.

Key words: buckling, buckling of the rod systems, buckling length, effective length, check local buckling.

О.В. ЕМЕЛЬЯНОВ¹, к.т.н., доц., А.Н. ШУВАЛОВ², к.т.н., доц., Т.Ю. ШАФРАНОВСКАЯ¹, инж., Я.Б. КОСТЮЧЕНКО¹, инж. ¹МГТУ им.Г.И.Носова, г.Магнитогорск, ²НИУ МГСУ, г.Москва
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВАРИВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА УРОВЕНЬ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ...39

На основании исследования напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов стержней таврового сечения из парных равнополочных уголков представлены результаты изменения коэффициентов концентрации упругих напряжений по обуху и перу в зонах обрыва фасонки и с торца уголков в зависимости от их конструктивных параметров (ширины и толщины полки уголка, толщины фасонки, длины и катета сварных швов). В результате расчетов установлено, что максимальная концентрация упругих напряжений в зоне обрыва фасонки и с торца уголков элементов таврового сечения из парных уголков имеет место со стороны обуха, а также величина коэффициента концентрации упругих напряжений в зоне обрыва фасонки и с торца уголков со стороны обуха и пера элементов таврового сечения из парных равнополочных уголков определяется длиной и катетом сварных швов, шириной полки уголков и не зависит от толщины полки уголков и фасонки.

Ключевые слова: решетчатые металлические конструкции, напряженно-деформированное состояние, коэффициент концентрации упругих напряжений, метод конечного элемента.
UDC 624.014.25. **The influence of constructional parameters of weldable elements on the stress concentration level.** Yemelyanov O.V., Shafranovskaya T.Yu., Kostyuchenko Ya.B., Magnitogorsk State Technical University G.I. Nosova, Magnitogorsk; Shuvalov A.N., Moscow State University of Civil Engineering, Moscow.

Here are presented the results of the coefficient variations of the elastic stresses concentration on the back edge and point in the plate breakage area and in the edge of angles depending on the width and the thickness of the flange, the thickness of the gusset, on the length and on the welding leg of the welding seams. The above-mentioned results have been based on the research of the stress-strain behavior by the finite-element method of starred bars made out of double equal angles. As a result of the calculations, it was established that the maximum concentration of elastic stresses in the zone of the plate breakage and from one end of angle of T-section elements from double angles is located angles around the heel. As well as the value of the concentration coefficient of elastic stresses in the zone of the gusset plate breakage and at one end of angle around the heel and toe the elements of the T-section from double equal-angle are determined by the length and the welding chord, flange length and does not depend on the flange and the gusset plate.

Key words: laced steel construction, stress-strain behavior, coefficient of elastic stress concentration, welding seams, finite element method.

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

ФОРМУЛА ЗАВИСИМОСТИ НИЗШЕЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЯ БАЛОЧНОЙ ФЕРМЫ ОТ ЧИСЛА ПАНЕЛЕЙ...45

Инерционные свойства статически определимой плоской фермы с треугольной решеткой моделируются одинаковыми массами, сосредоточенными в узлах нижнего пояса. Горизонтальные колебания масс не учитываются. Оценка низшей частоты колебаний фермы осуществляется методом Донкерля в системе компьютерной математики Maple. Для определения коэффициента податливости фермы используется формула Максвелла — Мора. Усилия в стержнях вычисляются в символьной форме из решения системы уравнений равновесия шарниров, записанной в матричной форме. Обобщение решения на произвольное число панелей выполнено методом индукции в два этапа — по номеру сосредоточенной массы и по числу панелей в ферме. Коэффициенты искомой формулы определяются из решения линейных однородных рекуррентных уравнений различного порядка, полученных операторами пакета genfunc системы Maple по результатам расчета ферм с последовательно увеличивающимся числом панелей. Конечная (по числу степеней свободы системы) сумма квадратов величин частот, обратных к частотам колебаний отдельных масс, вычисляется оператором sum. Сравнение с первой частотой, полученной из численного решения задачи о колебаниях системы грузов, показывает, что с увеличением числа панелей полученное приближенное аналитическое решение приближается к точному численному. Максимальная погрешность составляет 6%. Исползованный алгоритм вывода формулы для низшей частоты может быть применен и для других конструкций, в том числе и пространственных.

Ключевые слова: ферма, низшая частота, собственные колебания, метод Донкерля, Maple, индукция, число панелей.
UDC 624.04:531.391.3. **Formula of dependence of the lowest frequency of the oscillations of the beam truss.** Kirsanov M.N., Moscow Power Engineering Institute The inertial properties of a statically determinable flat truss with a triangular lattice are modeled by the equal masses concentrated in the nodes of the lower chord. Horizontal mass oscillations are not taken into account. The estimation of the lowest oscillation frequency of the truss is carried out by the Donkerley's method in the Maple computer mathematics system. To determine the coefficient of compliance of the truss, the Maxwell – Mohr formula is used. The forces in the rods are calculated in symbolic form from the solution of the system of equilibrium equations of the hinges, written in the matrix form. The solution was generalized to an arbitrary number of panels by induction in two stages — by the number of concentrated mass and by the number of panels in the truss. The coefficients of the required formula are determined from the solution of linear homogeneous recurrent equations of various order, obtained by the operators of the genfunc package of the Maple system according to the results of calculating trusses with a successively increasing number of panels. The finite (by the number of degrees of freedom of the system) sum of squares of the frequencies inverse to the oscillation frequencies of individual masses is calculated by the operator sum. Comparison with the first frequency obtained from the numerical solution of the problem of oscillation of the system of loads shows that with an increase in the number of panels the approximate analytical solution obtained approaches the exact numerical one. The maximum error is 6%. The algorithm used to derive the formula for the lower frequency can be applied to other structures, including spatial ones.

Key words: truss, lower frequency, natural oscillations, Donkerley method, Maple, induction, number of panels.

[Расчеты на устойчивость](#)

М.С. ЦАРЕВ, инж. (Институт природообустройства имени А.Н. Костякова, г. Москва)

УСТОЙЧИВОСТЬ ДЛИННОЙ ПЛАСТИНКИ, ПОДКРЕПЛЕННОЙ ПОПЕРЕЧНЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ЧИСТОМ СДВИГЕ...50

Исследовано значение отношения изгибной жесткости промежуточного поперечного ребра к цилиндрической жесткости панели γ в длинной пластинке при чистом сдвиге. Для проведения эксперимента использован программный вычислительный комплекс SCAD Office. Исследование позволило подтвердить аналитическое утверждение С.П. Тимошенко об увеличении момента инерции поперечного ребра в зависимости количества панелей в длинной пластинке при чистом сдвиге. Получено значение γ для длинной пластинки подкрепленной промежуточными поперечными ребрами жесткости, состоящей из шести панелей, что наиболее характерно для опорных участков длинных составных балок. Корректность исследования проверена сравнением теории с численным расчетом в МКЭ, получено хорошее совпадение. В зависимости от интенсивности сдвиговых напряжений и количества панелей по длине стенке изгибаемого элемента возможно снижение массы поперечных ребер жесткости.

Ключевые слова: металлические конструкции, момент инерции поперечного ребра, чистый сдвиг.

[Stability calculations](#)

UDC 624.01.25. **Resistance of long plates reinforced by cross stiffeners under pure shear.** Tsarev M.S., Institute of Environmental Engineering by A.N. Kostyakov, Moscow

The value of the ratio of the bending stiffness of the intermediate cross rib to the cylindrical stiffness of a panel in a long plate at pure shear has been studied. To conduct the experiment the software complex SCAD Office was used. The study has confirmed the analytical statement of S.P. Timoshenko about the increase in the inertia moment of a cross rib depending on number of panels in a long plate at pure shift. The value is obtained for a long plate consisting of six panels and supported by intermediate cross stiffeners, which is most typical for the support sections of long composite beams. The propriety of the study was tested by comparing the theory with experimental calculations in FEM, and a good match was obtained. Depending on intensity of shear stresses and number of panels along the length of a bending element wall, it is possible to reduce the mass of cross stiffeners.

Key words: metal structures, inertia moment of cross stiffener, pure shear.

[Динамические расчеты](#)

В.И. КОРОБКО, д.т.н., проф., С.В. ШЛЯХОВ, инж. Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

МЕТОД МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЖЕСТКОСТИ И ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ УПРУГИХ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИНОК...56

С помощью метода интерполяции по коэффициенту формы исследуются две задачи: оценка жесткости упругих изотропных пластинок при поперечном изгибе равномерно распределенной нагрузки и оценка основной частоты их колебаний. На примере треугольных пластинок установлено, что графики функций «обратная величина коэффициента формы пластинок – угол при основании равнобедренного треугольника», подобные графикам зависимостей максимального прогиба и основной частоты колебаний от этого же параметра. С учетом этого предложен метод масштабирования, позволяющий достаточно просто решать указанные задачи с использованием коэффициента формы и коэффициента масштабирования. Эффективность метода иллюстрируется на примере расчета сегментных пластинок с жестко защемленным контуром.

Ключевые слова: упругие изотропные пластины в виде частей круга, максимальный прогиб пластинок, основная частота колебаний, метод масштабирования.

[Dynamic calculations](#)

UDC 624.012.45. **Scaling method in evaluating the stiffness and the basic vibration frequency of elastic isotropic plates.** Korobko V.I., Shlyakhov S.V., Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel The article investigates two problems by the interpolation method on the shape coefficient: 1) the estimation of the stiffness of elastic isotropic plates at cross bending by uniformly distributed load and 2) the estimation of the basic frequency of their oscillations. Using the example of triangular plates it was stated that graphics functions «the reciprocal value of shape coefficient of plates – the base angle of isosceles triangle» are similar to charts of the dependency of maximum deflection and main frequency of the oscillations from this parameter. Taking it into account the scaling method is proposed to simply solve these problems using the shape factor and the scaling factor. The efficiency of the method is illustrated by the example of calculation of segment plates with rigidly clamped contour.

Key words: elastic isotropic plates in the shape of circle parts, maximum deflection of plates, basic frequency of oscillations, scaling method.

[Геометрические расчеты](#)

О.О. АЛЕШИНА, инж. Российский университет дружбы народов, г. Москва

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ГЕОМЕТРИИ И РАСЧЕТУ ТОРСОВЫХ ОБОЛОЧЕК ОДИНАКОВОГО СКАТА...63

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) и выявления особенностей конструирования торсовой оболочки одинакового ската с направляющим эллипсом в основании использованы методы дифференциальной геометрии, система Mathcad и вычислительный комплекс SCAD Office. Получены координаты основных точек при построении торсовых оболочек одинакового ската с направляющим эллипсом в основании. Предложен козырек над входом в здание в форме поверхности одинакового ската, численно исследовано напряженно-деформированное состояние данной конструкции.

Ключевые слова: теория тонких оболочек, торсовая оболочка, поверхность одинакового ската, геометрическое моделирование, вычислительный комплекс SCAD Office

[Geometric calculations](#)

UDC 69:624.074:624.012.4. Studies of geometry and calculation of torso shells of an equal slope. Aleshina O.O., Peoples' friendship University of Russia, Moscow

Thin-walled shell-type structures make up an extensive class in architecture, civil and industrial construction, engineering and instrumentation, shipbuilding, etc. Each surface has certain advantages over others. Nowadays the study of stress-strain state of shells of the same slope with the guide ellipse at the base is too shortly presented. The purpose of the article is to obtain new data in studying of construction and calculation of torso shells of the same slope with a guide ellipse at the base. To assess the stress-strain state and to identify the design features of torso shell of equal slope with a guide ellipse the differential geometry methods and Mathcad system and SCAD Office computer system representing an integrated system of strength analysis and design of structures based on the finite element method are used. The coordinates of the main points in the construction of torso shells of the same slope with a guide ellipse at the base are obtained. The stress-strain state of this structure is numerically investigated.

Key words: theory of thin shells, torso shell, the surface of the same slope, geometric modeling, SCAD Office.

[Экспериментальные исследования](#)

Д.В. КОНИН, к.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г.Москва

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРТАМЕНТА ДВУТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ...71

Для достоверного восстановления схем каркаса здания при обследовании зданий, сооруженных более 40—50 лет назад, требуется привлечение аппарата математической статистики для обработки результатов измерений профилей. Часто на объектах отсутствует полный комплект рабочей документации, а стальные конструкции частично скрыты отделочными слоями, стенами и перегородками и для измерений доступны не все характерные размеры профилей. Приведена статистическая методика определения сортамента на примере реальных обследований стальных каркасов зданий Центра международной торговли в Москве. Показан способ учета возможных отклонений от параметров заданного сортамента путем назначения дополнительного коэффициента условий работы, равного 1,05. Установлены минимально необходимые данные измерений для достоверного определения сортамента использованных профилей. Для каждого профиля необходимо измерять минимум: общую высоту + свес полки + толщину полки; ширину полки + свес полки + толщину полки. Один из указанных параметров (ширина или свес полки, общая высота) обязательно должен быть определен непосредственными измерениями.

Ключевые слова: обследование, сортамент, измерение, прокат, двутавр, несущий каркас, гистограмма, статистическая обработка измерений.

Experimental studies

UDC 624.014. Definition of the range of beam profiles by statistical methods on the results of actual measurements in the survey of steel structures of buildings and constructions. Konin D.V., Kucherenko TSNIISK, Moscow
For reliable restoration of schemes of a building frame at inspection of buildings constructed more than 40–50 years ago, it is required to involve the mathematical statistic for processing of results of measurements of profiles. Often there is no complete set of working documentation on the objects, and steel constructions are partially hidden by finishing layers, walls and partitions and not all characteristic sizes of profiles are available for measurements. The statistical method of determining the range on the example of real surveys of steel frames of buildings of the World Trade Center in Moscow is given. A method of taking into account possible deviations from the parameters of a given range by assigning an additional specific-conditions-of-use factor equal 1,05 is shown. The minimum required measurement data for reliable determination of the range of used profiles are established. For each profile to measure overall height + cantilever flange + thickness of the flange; a flange width + cantilever flange + thickness of the flange. One of the parameters (flange width or cantilever flange, total height) must be determined by direct measurements.

Key words: survey, range, measurement, hot-rolled, I-beam, bearing frame, histogram, statistical processing of measurements.

№ 4 за 2019 год

Расчеты на прочность

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВНЕЦЕНТРИННО НАГРУЖЕННОГО УПРУГОГО СТЕРЖНЯ С УЧЕТОМ ЕГО СОБСТВЕННОГО ВЕСА...2

Рассматриваются вопросы определения перемещений точек упругого стержня, находящегося в условиях внецентренного нагружения с учетом его собственного веса. Нижний конец стержня имеет жесткое защемление, верхний конец – свободен от опор. Перемещения точек упругого внецентренно нагруженного стержня в направлении главных центральных осей инерции поперечного сечения определяются методами теории упругости. Анализ полученных расчетных формул показывает, что перемещения точек внецентренно нагруженного упругого стержня в направлении главных осей, перпендикулярных его продольной оси являются квадратичными функциями продольной координаты, причем для рассматриваемого сечения перемещения всех его точек одинаковы и равны перемещению оси стержня в направлении соответствующей координатной оси. Перемещения точек внецентренно нагруженного стержня в направлении его продольной оси являются линейными функциями декартовых координат рассматриваемой точки в поперечном направлении, и квадратичными – в продольном направлении. Это означает, что поперечные сечения стержня, плоские до приложения нагрузки, после деформации искривляются и поворачиваются вокруг оси, не совпадающей с нейтральной осью. Рассмотрен числовой пример. Численные исследования показывают, что перемещения верхнего конца оси стержня, полученные методами сопротивления материалов, занижены, по сравнению с перемещениями, определенными методами теории упругости. Полученные результаты могут найти применение как при оценке жесткости внецентренно нагруженных упругих стержней, так и при определении формы стержня и положения его поперечного сечения после деформации.

Ключевые слова: упругий стержень, внецентренное сжатие, перемещения и деформации.

Strength calculations

UDC 624.044.2. **DISPLACEMENTS OF NONCENTRAL LOADED ELASTIC ROD CONSIDERING ITS WEIGHT.** S.V. Bakushev, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia.

Abstract. The present work studies questions of determination of displacements of the points of elastic rods at noncentral load conditions considering its weight. Rod bottom end has rigid fixing; the upper end is subtraction-free. The displacements of the points of noncentral loaded elastic rod at the direction of the main lines of inertia of cross sectional view are determined by elasticity theory methods. Received calculation formulae analysis shows that the displacements of points of noncentral loaded rod at the direction of its main axis, perpendicular to its longitudinal axis, are quadratic functions of longitudinal coordinate, whereas for analyzed cross section the displacements of all its points are the same and equal to the displacements of rod central line at the direction of corresponding coordinate axis. The displacements of points of noncentral loaded rod at its longitudinal axis are linear functions of Descartes's coordinates of the point under study at transversal direction and quadratic functions at longitudinal direction. The means rod cross sections, flat before loaded, became deflected after deformation and turn around axis that runs counter to zero axis. Numerical illustration has been analyzed. Numerical studies demonstrate that displacements of rod upper end, received by structural resistance methods, are under-reported if compared with displacements, determined by elasticity theory methods. Received in the present article results can be applied both while rigidity evaluation of noncentral loaded elastic rods and at the determination of rod form and its cross section position after deformation.

Key words: elastic rod, noncentral load, displacements and deformations.

С.В. БОСАКОВ, д.т.н., проф., П.Д. СКАЧЁК, инж. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь) РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ШАРНИРНОГО УЗЛА ОПИРАНИЯ ОДНОПРОЛЕТНОЙ БАЛКИ...10

Рассматривается решение контактной задачи для шарнирного узла опирания однопролетной балки. Основная цель работы заключается в определении напряженного состояния области опирания балки на стены. При этом решаются задачи построения поверхностей и изолиний реактивных давлений в области непосредственного контакта балки и стен, определения расчетного пролета балки, влияния размера зоны контакта на величину максимального изгибающего момента в середине пролета балки, определения области контакта при различных показателях гибкости, а также построения изолиний вертикальных перемещений стен. Расчет ведется методом Б.Н. Жемочкина, реализация которого для данной задачи соответствует смешанному методу строительной механики. В качестве примера расчет выполняется на сосредоточенную нагрузку, приложенную в середине пролета балки. Получены решения контактной задачи при различных показателях гибкости λ и установлено, что с увеличением данного показателя фактическая область контакта опираемых конструкций уменьшается. Построены изолинии вертикальных перемещений точек поверхности упругого четвертьпространства. Установлено, что в предельном случае при $\lambda = 0$ решение соответствует вдавлению жесткого штампа в упругое четвертьпространство.

Ключевые слова: контактная задача, упругое четвертьпространство, метод Б.Н. Жемочкина, показатель гибкости, контактные напряжения, область контакта.

UDC 624.044.2. **SOLUTION OF A THREE-DIMENSIONAL CONTACT PROBLEM FOR A HINGED UNIT OF A SINGLE SPAN BEAM.** S.V. Bosakov, P.D. Skachyok, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus.

Abstract. The article discusses the solution of the contact problem for the hinge assembly of the single-span beam. The main goal is to determine the stress state of the beam bearing area on the walls. This solves the problem of constructing surfaces and isolines of reactive pressures in the area of direct contact of the beam and walls, determining the design span of the beam, the influence of the size of the contact zone on the maximum bending moment in the middle of the span of the beam, determining the contact area at various flexibilities, and building vertical isolines wall movements. The calculation is carried out by the B.N. Zhemochkin method, the implementation of which for this problem corresponds to the mixed method of structural mechanics. As an example, the calculation is performed on a concentrated load applied in the middle of the span of the beam.

Key words: contact problem, elastic quarter space, B.N. Zhemochkin method, flexibility indicator, contact stresses, contact area.

А.И. ДЕМЬЯНОВ, к.т.н., доц., В.И. КОЛЧУНОВ, д.т.н., проф., Н.В. НАУМОВ, инж. Юго-западный государственный университет, г. Курск ВТОРАЯ СТАДИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ С ИЗГИБОМ (Случай 1)...20

Разработка расчетной модели сопротивления железобетонных конструкций при кручении с изгибом любых поперечных сечений, наиболее полно отражающей особенности их действительной работы. Предложена расчетная модель сопротивления железобетонных конструкций в зданиях и сооружениях при кручении с изгибом, состоящая из приопорного блока (образованного пространственной трещиной и замыкаемой на нее сжатой зоной бетона, - пространственное сечение k) и второго блока, образуемого вертикальным сечением I-I, проходящим перпендикулярно к продольной оси железобетонного элемента по краю сжатой зоны, замыкающей пространственную спиралеобразную трещину. При этом в качестве расчетных усилий в пространственном сечении учитываются: нормальные и касательные усилия в бетоне сжатой зоны; составляющие осевых и нагельных усилий в рабочей арматуре, пересекаемой спиралеобразной пространственной трещиной. Построены разрешающие уравнения, образующие замкнутую систему и записана функция Лагранжа их объединяющая. Используя частные производные построенной функции по всем входящим в нее переменным и приравнивая их нулю, составлена дополнительная система уравнений, из которой после соответствующих алгебраических преобразований, получена зависимость, позволяющая отыскивать проекцию опасной пространственной трещины s_{inc} .

Ключевые слова: методика расчета, кручение, напряженно-деформированное состояние, железобетонные конструкции, пространственная трещина, функция Лагранжа.

UDC 624.012.45. **SECOND STAGE OF STRESS-STRAINED STATE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER THE ACTION OF TORSION WITH BENDING (CASE 1).** A.I. Demyanov, V.I. Kolchunov, N.V. Naumov, Southwestern State University, Kursk, Russia

Abstract. Development of a calculation model for reinforced concrete structures under the action of torsion with bending of an arbitrary cross-section that most fully reflects the characteristics of their actual work. It is proposed a complex resistance computational model of reinforced concrete constructions in buildings and structures under the action torsion with bending. It consists of from the block near the support (formed by a spatial crack and a compressed concrete zone closed by it – a spatial section k) and a second block, which is formed by a vertical cross section I-I passing perpendicularly to the longitudinal axis of the reinforced concrete element along the edge of the compressed zone, which closes the spatial spiral-shaped crack. In this case, as the calculated forces are taken into account in the spatial section: normal and tangential forces in the concrete of the compressed zone; components of axial and «dowel» efforts in the working reinforcement, intersected by a spiral spatial crack. The resolving equations are constructed that form a closed system and the Lagrange function is unified. Using the partial derivatives of the constructed function with respect to all the variables entering into it and equating them to zero, an additional system of equations is constructed. The dependence is obtained after the corresponding algebraic transformations, that allows us to search for the projection of a dangerous spatial crack s_{inc} .

Key words: calculation methodics, torsion, stress-strain state, reinforced concrete constructions, spatial crack, Lagrange function.

М.Н. КИРСАНОВ, др.физ.мат.наук, проф. НИУ МЭИ, г.Москва ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПРОГИБА ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВОЙ РАМЫ С ПРОИЗВОЛЬНОМ ЧИСЛОМ ПАНЕЛЕЙ В РИГЕЛЕ И ОПОРАХ...31

Предлагается схема статически определимой рамы-фермы с искривленными опорными частями-фермами и прямолинейным ригелем. Решетка рамы треугольная. Рама имеет две опоры и нагружена по верхнему поясу равномерной нагрузкой. Выводится формула для горизонтального смещения подвижной опоры и прогиба в зависимости от числа панелей в ригеле и опорных фермах. Для определения усилий составляется система уравнений равновесия всех узлов фермы в программе символьных вычислений Maple. Прогиб определяется с помощью интеграла Мора. Выделены три группы стержней с одинаковой жесткостью. Отдельные решения, полученные для рам с разным (последовательно увеличивающимся) числом панелей, обобщаются методом двойной индукции на произвольное число панелей. Для составления и решения рекуррентных уравнений, которым удовлетворяют коэффициенты искомой формулы, используются операторы системы Maple. Решение в случае распределенной нагрузки получается полиномиальным четвертого порядка и третьего порядка при нагружении рамы одной силой в середине пролета. Графики полученных зависимостей обнаруживают некоторые особенности решения: экстремальные точки, изменение знака кривизны зависимостей для разных значений параметров конструкции. Найдены асимптотические характеристики решения.

Ключевые слова: ферма-рама, прогиб, смещение, Maple, индукция, число панелей, асимптотика.

UDC 624.04. **FORMULAS FOR THE BENDING OF A HINGE-TRUSS FRAME WITH AN ARBITRARY NUMBER OF PANELS IN THE CROSSBAR AND SUPPORT.** M.N. Kirsanov, National Research University Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

Abstract. A scheme of a statically determinable frame-trusses with curved supporting parts-trusses and a straight crossbar is proposed. The frame lattice is triangular. The frame has two supports and is loaded on the upper belt with a uniform load. A formula is derived for the horizontal displacement of the movable support and deflection, depending on the number of panels in the crossbar and support trusses. To determine the forces in the rods, a system of equilibrium equations of all the truss nodes in the Maple symbolic computation program is compiled. The deflection is determined using the Mohr's integral. Three groups of rods with the same rigidity were identified. The individual solutions obtained for frames with different (successively increasing) number of panels are generalized by the method of double induction to an arbitrary number of panels. To compose and solve recurrent equations that are satisfied by the coefficients of the desired formula, the operators of the Maple system are used. The solution in the case of a distributed load is obtained by polynomial of fourth order and third order when the frame is loaded with one force in the middle of the span. The graphs of the obtained dependencies reveal some features of the solution: extreme points, a change in the sign of the curvature of dependencies for different values of the construction parameters. The asymptotic characteristics of the solution are found.

Key words: frame truss, deflection, displacement, Maple, induction, number of panels, asymptotics.

М.Ю. ПРОКУРОВ, к.т.н., доц. Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск

ПРОГРАММА РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНОГО ПРОГИБА ТОНКИХ ПЛАСТИНОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ФОРМЫ...37

Цель исследования - разработка математической модели и автоматизации расчета максимального прогиба тонких пластинок на упругом основании, нашедших широкое применение при моделировании работы элементов сложных технических систем. Решение задачи основывается на использовании метода интерполяции по коэффициенту формы, разработанного профессором А.В. Коробко. Коэффициент формы является безразмерной геометрической характеристикой плоской выпуклой одноосевой области и имеет применение в ряде задач математической физики. Данная характеристика известна по работам ученых Г. Поля и Г. Сеге. Впервые к расчету пластинок коэффициент формы применен профессором В.И. Коробко. Указанный метод предполагает использование различных способов интерполяции искомых решений. Результаты: 1) Разработана методика расчета значения максимального прогиба тонких пластинок на упругом основании в виде произвольных треугольников, прямоугольников, ромбов, параллелограммов и равнобедренных трапеций с различными комбинациями граничных условий, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой. В качестве граничных условий на контуре пластинок рассматриваются различные комбинации шарнирного опирания и жесткого защемления по их отдельным сторонам. 2) Разработано специализированное программное обеспечение деформационного расчета указанных видов пластинок для винклеровской модели их упругого основания и двухпараметрической модели П.Л. Пастернака, используемых при решении задач строительства и машиностроения. 3) Анализ ряда тестовых решений показал достаточную точность расчета значений максимального прогиба пластинок на упругом основании, реализуемого с помощью разработанного программного обеспечения, построенного на основе метода интерполяции по коэффициенту формы.

Ключевые слова: тонкие пластины, упругое основание, равномерно распределенная нагрузка, максимальный прогиб, коэффициент формы, программа.
UDC 624.044.2:62-41:510.67. CALCULATION PROGRAMME FOR MAXIMUM DEFLECTION OF THIN ELASTIC PLATES ON ELASTIC FOUNDATION USING INTERPOLATION METHOD BASED ON SHAPE FACTOR. M.Yu. Prokurov, Bryansk State Engineering and Technological University, Bryansk, Republic of Belarus.

Abstract. The purpose of the research is to develop a mathematical model and automation the calculation of the maximum deflection of thin plates on an elastic base, which are widely used in the modeling of elements of complex technical systems. The solution of the problem is based on the use of the method of interpolation by factor of shape, developed by professor A.V. Korobko. The shape factor is a dimensionless geometric characteristic of a flat convex simply connected domain and has applications in a number of mathematical physics problems. This characteristic is known from the works of scientists G. Pylya and G. Szogz. Professor V. I. Korobko for the first time applied the shape factor to the calculation of plates. This method involves the use of different ways of interpolation of the desired solutions. Results: 1) The method of calculating the maximum deflection of thin plates on an elastic base in the form of arbitrary triangles, rectangles, rhombs, parallelograms and isosceles trapezoids with different combinations of boundary conditions loaded with uniformly distributed load is developed. The boundary conditions on the contour of the plates cover the various combinations of hinge and rigid supports according to their individual parties. 2) The specialized software of deformation calculation of the specified types of plates for the Winkler model of elastic base and two-parameter model of P. L. Pasternak used in solving problems of construction and mechanical engineering is developed. 3) Analysis of a number of test solutions showed sufficient accuracy in calculating the values of the maximum deflection of the plates on an elastic base, implemented using the developed software, built on the basis of the method of interpolation by the factor of shape.

Key words: thin plates, elastic foundation, evenly distributed loading, maximum deflection, shape factor, programme.

К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ¹, д.т.н., проф., Б.С. СОКОЛОВ², к.т.н.¹ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО«НИЦ«Строительство»),²НИИЖБ им.А.А.Гвоздева (АО«НИЦ«Строительство»), г. Москва

СЛОЖНОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КУПОЛОВ, РАБОТАЮЩИХ СОВМЕСТНО С РЕБРАМИ...47

Статья посвящена исследованиям сложных напряженных состояний анизотропных материалов при длительных воздействиях нагрузок. Рассматривается построение критериев кратковременной и длительной прочности, предложенное Г.А. Гениевым, в связи с расчетом большепролетных конструкций куполов из клееной и цельной древесины, в которых элементы ограждения включаются в совместную работу с силовым набором в виде меридиональных и кольцевых ребер. При этом элементы ограждения – плиты – оказываются в сложном напряженном состоянии и работают при сжатии со сдвигом. Совместная работа таких систем изучалась теоретически и экспериментально на крупномасштабных моделях и опытным строительстве. Выявлены большие резервы силового сопротивления. В частности, в 1985 г. построен экспериментальный объект: крытый каток на стадионе «Локомотив», на котором реализованы указанные предположения, и он успешно эксплуатируется много лет. Однако остались некоторые нерешенные вопросы с уточнением действительной работы конструкций и построением алгоритма расчета. Исследуются дошато-гвоздевые плиты различной толщины при длительном воздействии сдвигающих усилий. Даются некоторые обобщения исследуемых подходов.

Ключевые слова: большепролетные конструкции, клееная древесина, механические модели анизотропного материала, критерии прочности, длительная прочность, сдвигающие усилия.
UDC 624.04.012. THE STUDY OF COMPLEX STRESS STATES OF ELEMENTS FILLING THE CELLS BETWEEN THE RIBS OF WOODEN LARGE-SPAN DOMES. K.P. Pyatikrestovskiy¹, B.S. Sokolov², Research Centre «Construction»,¹Koucherenko TSNIISK,²Gvozdev NIIZHB, Moscow, Russia.

Abstract. The article is devoted to the research of complex stress states of anisotropic materials under long-term loads. The article considers the design of criteria for short-term and long-term strengths proposed by G. A. Geniev in connection with the calculation of large-span structures of domes of laminated and solid wood, where the enclosure elements are included in the joint work with the power set in the form of meridional and circular ribs. In this case, the elements of an enclosure-plate are at a complex stress state and they work under compression with a shift. Joint work of such systems was studied by experiments on large-scale models and experimental construction. Large reserves of strength resistance are revealed. In particular, in 1985, the indoor skating rink at the stadium «Lokomotiv» was built as an experimental facility which implemented these conditions and it has been successfully operated for many years. However, there are some unsolved issues with the refinement of the actual operation of the structures and the development of the calculation algorithm. Some generalizations of the studied approaches are given.

Key words: long-span structures, glued wood, mechanical models of anisotropic material, strength criteria, long-term strength, shifting forces.

С.И.РОЩИНА д.т.н., проф., М.В.ЛУКИН, к.т.н., доц., А.С.ГРИБАНОВ, к.т.н., А.А.КОЩЕЕВ, инж. Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г.Столетовых

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ ВКЛЕЕННЫХ В ДРЕВЕСИНУ СТЕРЖНЕЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ...57

Увеличение спроса на каркасные технологии малоэтажного строительства актуализирует вопрос экономии лесоматериала в строительных конструкциях. Перспективным направлением исследований в области обеспечения природы прочности является метод армирования деревянных балок стальной арматурой. Традиционными решениями на сегодняшний день является использование стальной арматуры периодического профиля. На сегодняшний день на рынке присутствуют материалы, способные улучшить прочностные показатели подобных конструкций. К таким материалам можно отнести стальные оцинкованные троса различного профиля. Однако, их применение является малоизученным и рискованным из-за относительной поперечной деформации троса при его растяжении. Для решения вопроса применения стальных тросов в цельной древесине в 2017 г. к изучению был предложен новый вид армирования деревянных балок – стальной тросовой арматурой по оригинальной криволинейной траектории. Данная научная статья посвящена первому циклу экспериментальных испытаний по данному направлению: изучению вопроса влияния прочностных и деформационных характеристик стального троса на поведение клеевой прослойки из эпоксидного состава при испытаниях на выдергивание прямого стержня из массива цельной древесины. В статье подробно описывается процесс изготовления образцов, условия и методика проведения эксперимента. В результате проведенных исследований были получены данные о характере разрушения клеевого соединения, построены графики зависимости прочностных характеристик от прикладываемой нагрузки, определены пределы прочности соединений. На основе полученных данных сделаны выводы о применимости тросового армирования в конструкциях из цельной древесины и определены основные направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: армирование деревянных балок, стальной трос, арматура, цельная древесина, древесина низких сортов, прочность, деформационные характеристики, эпоксидные клеевые композиции, сбережение лесоматериала.
UDC 691.112. INVESTIGATION OF STRENGTH INDICATORS OF RODS OF VARIOUS MATERIALS GLUED INTO WOOD. S.I.Roschina, M.V.Lukin, A.S.Gribanov, A.A.Koscheev, Vladimir State University named after A.G. and N.G.Stoletovs, Vladimir, Russia.

Abstract. The increase in demand for low-rise frame technology of construction actualizes the issue of saving timber in building structures. A promising direction of research in the field of ensuring the increase in strength is the method of reinforcing wooden beams with steel reinforcement. The traditional solutions today are the use of steel reinforcement of a periodic section. Today, there are materials on the market that can improve the strength characteristics of such structures. These materials include galvanized steel cables of various profiles. However, their use is poorly understood and risky due to the relative lateral deformation of the cable when it is stretched. To solve the issue of using steel cables in solid wood in 2017, a new type of reinforcement of wooden beams was proposed for study-steel cable reinforcement along an original curvilinear trajectory. This scientific article is devoted to the first cycle of experimental tests in this area: the study of the influence of the strength and deformation characteristics of a steel cable on the behavior of the adhesive layer of epoxy composition when testing for removing a straight rod from solid wood. The article describes in detail the process of making samples, the conditions and methodology of the experiment. As a result of the research, the obtained data on the nature of the destruction of the adhesive joint were made, the graphs of the strength characteristics versus the applied load were plotted, and the strengths of the joints were determined. On the basis of the data obtained, conclusions were drawn about the applicability of cable reinforcement in solid wood constructions and the main directions for further research were determined.

Key words: wooden beams reinforcement, steel wire rope, reinforcement, solid wood, low-grade wood, strength, deformation characteristics, epoxy adhesive compositions, saving of wood.

Динамические расчеты

З.Р. ГАЛЯУДИНОВ, к.т.н., доц., О.Г. КУМПЯК, д.т.н., проф. Томский государственный архитектурно-строительный университет

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ПОДАТЛИВЫХ ОПОРАХ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ...63

Конструкции зданий и сооружений могут быть подвержены действию кратковременных динамических нагрузок аварийного характера. Применение податливых опор позволяет снизить интенсивность динамического воздействия, в результате снижается материалоемкость и трудоемкость восстановления сооружений. В работе рассмотрен один из способов активной защиты конструкций, основанный на применении податливых опор в виде сминаемых вставок кольцевого сечения. Рассмотрено влияние податливости опорных соединений на коэффициент динамичности конструкций, а, следовательно, на перемещения, усилия и напряжения. Влияние податливости опор на работу конструкций при кратковременном динамическом нагружении изучалось численно-теоретическим методом. На основании теоретических исследований разработан алгоритм динамического расчета железобетонных балок с трещинами, с применением которого выполнен расчет конструкций при различных условиях деформирования податливых опор. Расчетами показано, что применение податливых опор, деформирующихся только в упругой стадии, не во всех случаях приводит к снижению коэффициента динамичности. В данном случае могут возникать области значений $\omega\Theta$, в которых наблюдается отрицательное влияние податливых опор на коэффициент динамичности. Наибольшая эффективность применения податливых опор достигается при их работе пластической стадии без перехода в стадию отвердения.

Ключевые слова: кратковременная динамическая нагрузка, уравнение движения, коэффициент динамичности, податливая опора, функция динамичности, железобетонная балка, частота собственных колебаний.

Dynamic calculations

UDC 624.012.539. CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ON YIELDING SUPPORT UNDER SHORT-TERM DYNAMIC LOADING. Z.R. Galyautdinov, O.G.

Kumpyak, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia.

Abstract. Constructions of buildings and structures can be exposed to short-term dynamic loads of emergency nature. Applying of yielding supports allow to reduce the intensity of dynamic effects, resulting in reduced material consumption and labor content the complexity of the restoration of structures. In the work considered one way to active protection of building structures based on the yielding supports in the form of wrinkle inserts the ring section. The influence of ductility of connections is described by the structures coefficient of dynamic and, consequently, on the displacements, strains and stresses. The influence of ductility of supports on the designs behavior under short-term dynamic loading has been studied numerically-theoretical method. Based on theoretical research of the algorithm of dynamic calculation of reinforced concrete beams with cracks, using the calculation of structures under various conditions of deformation of the yielding supports. Results of the calculation shows that the use of yielding supports, deformable only in elastic stage, not in all cases leads to a decrease in the coefficient of dynamic. In this case, the values may arise where $\omega\Theta$ there is a negative effect of yielding supports on the coefficient of dynamic. The highest effectiveness of the using of yielding supports can be in plastic stages without going to the stage of hardening.

Key words: short-term dynamic load, equation of motion, the coefficient of dynamic, yielding supports, dynamic function, reinforced concrete beam, free frequency.

Сейсмические расчеты

В.И. ОБОЗОВ¹, д.т.н., проф., М.А. ТОЛСТЫХ², инж. ¹АО НИЦ «Строительство», ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, ²АО «ДСК-1» ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ НА КОЛЕБАНИЯ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ...71

Цель работы — оценить влияние изменения жесткости основания под частью площади фундамента, характерное для просадочных грунтов при их замачивании. Приведены результаты испытаний на сейсмические воздействия пространственной стальной рамы, установленной по углам на четыре упругие опоры, имитирующие основание. Также на стальной раме были установлены датчики-акселерометры для фиксации величин ускорений и перемещений стальной рамы. Сейсмическое воздействие генерировалось при помощи специальной виброплатформы. Испытания имели цель оценить влияние изменения жесткости основания под частью площади фундамента, что характерно для просадочных грунтов при их замачивании. Проведено две серии испытаний. В одной серии испытания проводились при одинаковой жесткости всех четырех опор – ситуация в общем случае соответствует состоянию просадочного основания до замачивания грунтов. Во второй серии испытания проводились при уменьшенной жесткости двух опор, что соответствует случаю замачивания просадочного основания под частью площади фундамента. Сопоставление результатов испытаний в этих двух вариантах позволило качественно оценить влияние на колебания уменьшения жесткости основания на части площади.

Ключевые слова: колебания, сейсмические воздействия, стальная рама, колебания, просадочные грунты, замачивание грунтов, жесткость основания.

UDC 69.059. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE SUBSIDENCE BASE STIFFNESS ON THE OSCILLATIONS UNDER SEISMIC EFFECTS. V.I.Obozov¹, M.A.Tolstiyh²,
¹Koucherenko TSNIISK, ²JSC«DSK-1.

The article presents the results of tests on the seismic effects of a spatial steel frame installed at the corners on four elastic supports, imitating the base. Also, accelerometer sensors were installed on the steel frame for fixing the values of accelerations and displacements of the steel frame. Seismic impact was generated using a special vibroplatform. The tests were designed to assess the impact of changes in the rigidity of the base under a part of the basement area, which is typical of subsiding soils when soaked. Two series tests were performed. In one series, the tests were carried out with the same rigidity of all four pillars - the situation generally corresponds to the condition of the subsiding base before soaking. In the second series, the tests were carried out with a reduced rigidity of the two supports, which corresponds to the case of soaking the subsiding base under a part of the basement area. Comparison of the test results in these two variants made it possible to qualitatively assess the effect on the oscillations of the decrease in the rigidity of the base over part of the area.

Key words: vibrations, seismic effects, steel frame, soil soaking, soil subsidence, soil stiffness.

В помощь проектировщику

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доц. Филiaal Северо-Кавказского федерального университета в г.Пятигорске. ТРАПЕЦИЕВИДНЫЕ ПРОФИЛЬНЫЕ ТРУБЫ И РАСЧЕТ ИХ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ...76

Представлено новое техническое решение трапецевидных труб с верхней (меньшей) и нижней (большей) полками, двумя равнонаклонными стенками и внутренним ребром, расположенным по середине верхней полки перпендикулярно полкам и сформированным сваркой отогнутых кромок листовой заготовки. Тупоугольные сопряжения наклонных стенок с меньшей полкой и их остроугольные сопряжения с большей полкой увеличивают конструктивно-компоновочные возможности трапецевидного профиля в стержневых элементах ферменных и балочных конструкций. Приведен расчет оптимальных параметров тонкостенных сечений трапецевидной формы с внутренним ребром и без такого ребра по приближенной методике, апробированной при оптимизации решетчатых конструкций с использованием ромбических и квадратных (стандартных) профилей. По результатам расчета в элементе, равноустойчивом из плоскости и в плоскости ферменной конструкции, при отношении габаритных размеров профиля 1/1 и отношении размеров его полок 0,6/1 высота ребра равна 0,0751 одного из габаритных размеров. В элементе балочной конструкции момент сопротивления его сечения в силовой плоскости оптимизирован за счет того, что ордината центра тяжести составляет полувысоту профиля при отношении его габаритных размеров 1/1, отношении размеров полок 0,6/1 и высоте ребра, равной 0,2768 одного из габаритных размеров. Выполнен сравнительный анализ расчетных параметров трапецевидных, полуплоскоовальных, круглых и квадратных профилей, основные результаты которого подтверждают перспективность применения трапецевидных труб новой модификации в несущих конструкциях зданий и сооружений.

Ключевые слова: трапецевидные трубы, гнутосварные профили, профильные трубы, оптимизация сечений, расчет оптимальных параметров, ферменные конструкции, балочные конструкции.

UDC 624.072.2.014. TRAPEZOIDAL PROFILE TUBES AND CALCULATION OF THEIR OPTIMAL PARAMETERS. A.S. Marutyann, Branch of the North Caucasus Federal University in Pyatigorsk, Russia.

Abstract. The article presents a new technical solution of trapezoidal tubes with upper (smaller) and lower (larger) flanges, two equally inclined walls and an inner rib located in the middle of the upper flange perpendicular to the flanges and made by welding the bent edges of the sheet metal. Obtuse conjugations of sloping walls with a lower flange and acute angled conjugations with larger flange increase design-layout possibilities for trapezoidal profile in truss elements and beam structures. The calculation of the optimal parameters of thin-walled trapezoidal sections with an inner edge and without such an edge is given by an approximate method, tested in the optimization of lattice structures using rhombic and square (standard) profiles. According to the results of the calculation in the element equidistant from the plane and in the plane of a truss with the ratio of the overall dimensions of the profile 1/1 and the ratio of the dimensions of its flanges 0.6/1 the height of the edge is 0.0751 of one of the dimensions. In the element of the beam structure the moment of resistance of its section in the force plane is optimized due to the fact that the ordinate of the gravity center is half the height of the profile with respect to its overall dimensions 1/1 when the ratio of the dimensions of the flanges is 0.6/1 and the height of the edge is equal to 0.2768 of one of the overall dimensions. A comparative analysis of the design parameters of trapezoidal, semi-oval, round and square profiles is performed. The main results of the analysis confirm the actuality of the use of trapezoidal pipes of a new modification in the load-bearing structures of buildings.

Key words: trapezoidal pipes, bent welded profiles, profile pipes, optimization of cross-sections, calculation of optimal parameters, trusses, beam structures.

№ 5 за 2019 год

Расчеты на прочность

А.С. ДЕХТЯРЬ, д.т.н., Национальная академия изобразительных искусств и архитектуры, г. Киев, Украина О ФОРМЕ ОБОЛОЧКИ ВРАЩЕНИЯ ПРИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ...2

Толщина стенки замкнутой оболочки вращения, заполненной жидкостью, отыскивается кинематическим методом теории предельного равновесия. Рассмотрена возможная форма разрушения такой оболочки с образованием трех кольцевых линий текучести. Отыскивается такое расположение этих линий, которое приводит к наибольшей толщине оболочки. Для частного случая – цилиндрической оболочки — приведены результаты контрольных вычислений и дано сравнение с ранее опубликованными результатами. Решена оптимизационная задача – отыскивается такая форма меридиана оболочки, которая в заданном внутреннем объеме позволяет получить оболочку с наименьшими затратами материала.

Ключевые слова: оболочка вращения, толщина стенки, гидростатическое нагружение.

Strength calculations

UDC 624.04:539.376. ON FORM OF REVOLUTION SHELL UNDER HYDRO-STATIC LOADING. A.S. Dekhtyarr, National Academy of Fine Arts and Architecture, Kiev, Ukraine.

Abstract. The wall thickness of the closed shell of revolution was found for the filled liquid. The kinematical method of limit load theory is applied. The possible smash form for such shell with formation of three circular plastic lines of is considered. Such location of these lines, which results in the most thickness of shell is found. For the special case – for a cylindrical shell — the results of check computations are resulted and comparison is given with the before published results. An optimization task is solved – such form of meridian of shell which for structure with the set internal volume allows to get a shell with the least expenditures of material is found.

Key words: shell of revolution, wall thickness, optimal design.

А.А. МИНАСЯН, инж., К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ, д.т.н. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: stroymex@list.ru ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА И АРМАТУРЫ КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ...7

Цель работы — определение фактической зависимости «напряжение – деформация» бетона и арматуры для совершенствования расчетов при оценке остаточного ресурса несущей способности коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия. Проведены лабораторные испытания образцов бетона и арматуры, отобранных из железобетонных плит перекрытия по разным схемам повреждения, подвергавшихся воздействию природных климатических условий г. Москвы. Получены диаграммы деформирования бетона при сжатии и растяжении, а также диаграммы растяжения поврежденных арматурных стержней. Для упрощения расчетов фактическая диаграмма деформирования представляется трансформационными участками, которые получены балансированием энергии деформации с энергиями трансформационных участков как в упругой, так и упруго-пластической стадии работы материалов. Несущая способность исследуемых плит изменялась в зависимости от схемы (участка) повреждения. На основании экспериментальных диаграмм деформирования бетона и арматуры могут быть выполнены расчеты и оценены остаточные ресурсы несущей способности плит по разным схемам коррозионного повреждения.

Ключевые слова: коррозионное повреждение железобетонных плит, диаграммы деформирования бетона и арматуры, схемы повреждения плит.

UDC 624.072.225. THE STRAIN DIAGRAM OF CONCRETE AND REINFORCEMENT TEAMS OF CORROSION-DAMAGED REINFORCED CONCRETE SLABS AT NATURAL CLIMATIC CONDITIONS. A.A. Minasyann, K.P. Pyatikrestovskiy, V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Constructions, Moscow; email: stroymex@list.ru.

Abstract. The article presents diagrams of concrete and reinforcement deformation of corrosion-damaged floor slabs. The considered floor slabs were subjected to intensive influence of climatic conditions of Moscow, as a result of which they were damaged by different schemes. The bearing capacity of these plates varied depending on the scheme (site) of damage. At the same time, concrete and reinforcing bars were tested according to different schemes of corrosion-damaged plates. The diagrams of concrete deformation of undamaged and damaged areas and the diagrams of stretching of damaged reinforcing bars are obtained. On the basis of experimental diagrams of concrete and reinforcement deformation, calculations can be made and residual resources of the bearing capacity of plates damaged by corrosion can be estimated.

Key words: diagram method corrosion damage of reinforced concrete slabs, bearing capacity.

Л.С. САБИТОВ^{1,3}, к.т.н., О.В. РАДАЙКИН², к.т.н., И.Л. КУЗНЕЦОВ², д.т.н., ¹Казанский федеральный университет, ²Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ³Казанский государственный энергетический университет; e-mail: lsabitov@bk.ru ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ-ОБОЛОЧЕК...14

Рассмотрены новые теоретические основы определения напряженно-деформированного состояния тонкостенных стержней-оболочек закрытого профиля, позволившие авторам получить частные методики расчета прочности высотных сооружений и их стыковочных узлов – на примере опор воздушных линий электропередач (ВЛ). Предлагаемые теоретические положения представляют собой совокупность гипотез, математических моделей и аналитического формульного аппарата. При этом для расчета непосредственно стержня-оболочки, моделирующего ствол высотного сооружения, применено два различных подхода: 1 – базирующийся на общих принципах механики тонкостенных стержней, 2 – строящийся на основе вариационного принципа Кастильяно; в обоих подходах в отличие от существующих теорий учтены сдвиговые деформации, вызванные деформацией сечения при стесненном кручении, наличие конусности стержня, а также изменение толщины его стенки по высоте. Опорный стыковочный узел стержня-оболочки рассмотрен в двух вариантах исполнения: в виде фланца и со

специальной конической вставкой криволинейной формы, которая определяет новизну конструкции стыка. В первом варианте для оценки устойчивости опорных ребер фланца применен энергетический подход Дж. Брайона, построено соответствующее дифференциальное уравнение в частных производных, а его решение предлагается находить численно с применением метода конечных элементов. В связи с этим детально проработана методика создания конечно-элементной модели опорного ребра на основе сравнения трех наиболее правдоподобных расчетных схем. Для второго варианта получено расчетное выражение, позволяющее описывать оптимальную форму конической вставки. Также рассмотрен второй стыковочный узел, условно названный «телескопическим», который соединяет между собой два стержня-оболочки разного диаметра. Для него теоретически получена оптимальная глубина заделки одного стержня в другой. Третий из рассмотренных узлов – стык токоведущего провода опоры ВЛ с изолятором в виде консоли круглого сечения с жестко закрепленным концом большего сечения; для этого стыка получено расчетное выражение, позволяющее получать оптимальную форму перехода от зажима изолятора к проводу. На основе представленных в работе теоретических основ получены четыре частные расчетные методики оценки НДС предложенных конструкций и их узловых соединений: а) тонкостенных стержней-оболочек замкнутого сечения со слабой конусностью, б) телескопических соединений трубчатых стержней разного диаметра, в) соединения трубчатых стержней с помощью конической вставки, г) соединения токоведущих проводов и изолятора опоры ВЛ. При этом все методики реализованы каждая в своем программном комплексе авторской разработки – ПК «AutoRSS.01», ПК «AutoRSS.02», ПК «AutoRSS.03» и ПК «AutoRSS.04».

Ключевые слова: высотные сооружения, тонкостенный стержень, оболочка замкнутого профиля, теоретические основы, методика расчета.
UDC 624.012, 539.3. **THEORETICAL BASIS OF DETERMINING THE STRESS-STRAIN STATE OF THIN-WALLED RODS-SHELLS.** L.S. Sabitov1,3, O.V. Radaikin2, I.L. Kuznetsov2, 1 Kazan (Volga) Federal University, 2 Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, 3 Kazan State Power Engineering University; e-mail: l.sabitov@bk.ru
Abstract. The paper deals with the new theoretical basis for determining the stress-strain state of thin-walled rods-shells of the closed section, which allowed the authors to obtain private methods for calculating the strength of high-rise structures and their docking assemblies – for example, the supports of overhead power lines (overhead). The proposed theoretical provisions are a set of hypotheses, mathematical models and analytical formulae apparatus. At the same time, two different approaches were applied to the calculation of the shell rod directly modeling the trunk of a high-rise structure: 1 – based on the General principles of the mechanics of thin-walled rods, 2 – based on the castigliano variational principle; in both approaches, in contrast to the existing theories, the shear deformations caused by the deflation of the section with constrained torsion, the presence of the taper of the rod, as well as the change in the thickness of its wall in height are taken into account. The support docking Assembly of the shell rod is considered in two versions: in the form of a flange and with a special conical insert of a curvilinear form, which determines the novelty of the joint design. In the first embodiment, to assess the stability of the flange support ribs applied energy approach j. The corresponding partial differential equation is constructed, and its solution is proposed to find numerically using the finite element method. In this regard, the method of creating a finite element model of the support edge based on a comparison of the three most plausible design schemes is elaborated in detail. For the second variant, a calculated expression is obtained that allows describing the optimal form of the conical insert. Also considered the second docking Assembly, conventionally called «telescopic», which connects two rods-shells of different diameters. For it, the optimal depth of embedding of one rod into another is theoretically obtained. The third of the considered nodes is the joint of the current-carrying wire of the overhead line support with the insulator in the form of a round section console with a rigidly fixed end of a larger section; for this joint, a calculated expression is obtained that allows to obtain an optimal form of transition from the insulator clamp to the wire. On the basis of the theoretical bases presented in the work, four particular calculation methods for estimating the VAT of the proposed structures and their nodal connections are obtained: a) thin-walled rods/shells of a closed section with a weak taper, b) telescopic connections of tubular rods of different diameters, c) connections of tubular rods with a conical insert, d) connections of current-carrying wires and an insulator of the support of the overhead line. All methods are implemented each in their software authoring – PC «AutoRSS.01», PC «AutoRSS.02», PC «AutoRSS.03» and PC «AutoRSS.04».

Key words: high-rise structures, thin-walled rod, closed section shell, theoretical basis, calculation method.

Динамические расчеты

С.В. БАКУШЕВ, д.т.н., проф. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; e-mail: bakuchsv@mail.ru
ВНЕЦЕНТРЕННЫЙ УПРУГИЙ УДАР...26

Целью данной работы является исследование вопросов внецентренного ударного нагружения упругой стойки в рамках элементарной теории. При этом определяются динамические нормальные напряжения в поперечном сечении стойки, положение нейтральной линии при ударном воздействии, ядро сечения. В основу элементарной теории внецентренного ударного воздействия положен принцип независимости действия сил. Ударное внецентренное нагружение стержня рассматривается как совокупность трех динамических воздействий: ударное нагружение продольной силой, приложенной в центре тяжести поперечного сечения; ударное нагружение изгибающими моментами относительно главных центральных осей инерции сечения, также приложенными в центре тяжести поперечного сечения. Оставаясь в рамках элементарной теории удара, показано, что нейтральные линии при статическом и динамическом (ударном) воздействиях на внецентренно сжатую упругую стойку не совпадают; положение нейтральной линии при динамическом воздействии определяется не только координатами точки приложения ударного воздействия, но также и величиной действующей силы. Коэффициент динамичности стойки является функцией координат, то есть изменяется от точки к точке поперечного сечения, причем в значительных пределах. Для нейтральных линий, пересекающих поперечное сечение, коэффициент динамичности может быть как положительной, так и отрицательной величиной. На нейтральной линии, соответствующей статическому нагружению, коэффициент динамичности теряет смысл, на нейтральной линии, соответствующей динамическому нагружению, коэффициент динамичности становится равным нулю. Величина ядра сечения при динамических (ударных) воздействиях зависит от величины действующей силы. Полученные в статье результаты могут быть использованы при оценке величины нормальных напряжений в поперечных сечениях внецентренно нагруженных стоек при ударном воздействии.

Ключевые слова: упругая стойка, внецентренное сжатие, ударное нагружение, коэффициент динамичности.

Dynamic calculations

UDC 624.042.8. **ECCENTRIC ELASTIC COLLISION.** S.V. Bakushev, Penza State University of Architecture and Construction; email: bakuchsv@mail.ru.

Abstract. The aim of the present investigation is to examine the issue of eccentric shock loading of a spring beam within elementary theory. Whereas dynamic normal stresses at beam cross section, neutral line position at shock impact, core of cross section are being determined. The basis of elementary theory of eccentric shock impact is formed by principal of forces action independence. Eccentric shock loading of a bar is considered as a combination of three dynamic actions: shock loading by axial force, applied in the centre of gravity of cross section; shock loading by moments of flections regarding main central axis of inertia of cross section, also applied in the centre of gravity of cross section. Within the elementary theory of collision, it was shown that neutral lines at static and dynamic (shock) impact at eccentric compressed spring beam are inconsistent; the position of neutral line at dynamic impact is determined not only by point coordinates of shock impact application, but also by acting force magnitude. Beam dynamic coefficient is a function of coordinates, that means, it changes from point to point of cross section, moreover, changes considerably. For neutral lines, crossing cross section, dynamic coefficient may be of both positive and negative magnitude. On neutral line, corresponding static loading, dynamic coefficient loses its meaning, on neutral line that corresponds to dynamic loading, dynamic coefficient becomes equal to zero. Cross section core magnitude at dynamic (shock) impacts depends on acting force magnitude. Received in the present article results can be applied at evaluation of normal stresses in cross sections of eccentric loaded beams at shock impact.

Key words: bouncy rack, eccentric compression, shock loading, dynamic coefficient.

Сейсмические расчеты

А.В. МИНАСЯН к.т.н., ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: 1747210@mail.ru
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЖИВУЧЕСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ...34

Цель работы — исследование динамической живучести зданий и сооружений, оснащенных комбинированными упруго-пластическими и хрупко-скачкообразными выключающимися элементами. Динамическая живучесть — многократное настраивание жесткости, периодов и диссипации колебаний срабатыванием и выключением комплекса элементов при сейсмических воздействиях. Проведены теоретические исследования сейсмостойкости зданий и сооружений оснащением в конструктивных схемах комплекс элементов, в которых при определенном уровне сейсмических ударов — нарастание скорости движения, выключаются хрупкие элементы живучести. А живучие элементы второго типа упруго-пластические, выключаются при нарастании ускорения определенного (порогового) значения. Методами оснащения живучести могут быть разные системы управления жесткости, диссипации и других параметров, которые изменяются при сейсмических воздействиях, снижая нагрузки, приходящиеся на сооружение. При сильных и разрушительных землетрясениях срабатывание и выключение комплексных систем происходит изменения жесткости, выход здания из резонансной зоны и снижения сейсмических нагрузок. В зданиях с металлическим каркасом образуются упруго-пластические и пластические деформации, в зданиях с железобетонным каркасом и керамзитобетонными стеновыми заполнениями образуются многочисленные участки хрупких разрушений с незначительными деформациями несущих элементов. Частичные повреждения, сколы, микропоры, трещины, хрупкое скачкообразное разрушение и пластические деформации отдельных элементов в значительной степени поглощают энергию сейсмических воздействий, приходящую на сооружение. Таким образом, оснащая сооружения специальными хрупко-разрушающимися и упруго-пластическими элементами, можно достичь повышения живучести зданий при сейсмических и динамических воздействиях в условиях чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: динамическая живучесть, сейсмические воздействия, спектр реакций, сейсмозащитные элементы, гибкие связи, кинематические опоры, диапазон живучести.

Seismic calculations

UDC 624.042.7. **ENSURING THE DYNAMIC VIVACY OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS WITH SEISMIC IMPACT.** A.V. Minasyan, V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Constructions, Moscow; e-mail: 1747210@mail.ru.

Abstract. Analysis of the devastating earthquakes that occurred in the last 20-25 years: in Mexico - Mexico-1985, in Armenia - Spitak-1988, in the US - California 1989, in Russia - Neftegorsk-1995, in Japan - Kobe-1995, in China - Sichuan-2008, in Italy - L'Aquila-2009, show that in structures that have undergone strong earthquakes, zones of plastic currents and brittle discontinuous fractures are formed. In buildings with a metal frame, elastic-plastic and plastic deformations are formed, in buildings with a reinforced concrete frame and claydite-concrete wall fillings, numerous patches of brittle fractures are formed with minor deformations of the bearing elements. Partial damage, chips, micropores, cracks, brittle sudden fracture and plastic deformation of individual elements to a large extent absorb the energy of seismic effects coming to the structure. Thus, equipping the structures with special brittle-breaking and elastic-plastic elements, it is possible to achieve an increase in the survivability of buildings under seismic and dynamic effects in emergency situations.

Key words: dynamic survivability, seismic effects, reaction spectrum, seismic protection elements, flexible connections, kinematic supports, survivability range.

Нелинейные расчеты

А.Ю. ИВАНОВ, инж. (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: andreyivanov4@gmail.com)
МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КРИВОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗДАНИЯ...44

Кривая несущей способности отображает работу конкретного здания под действием монотонно увеличивающейся нагрузки в течение всего процесса нагружения вплоть до разрушения. С помощью кривой несущей способности в зарубежной практике проектирования оценивается сейсмостойкость зданий с учетом их возможных повреждений, вызываемых более сильным землетрясением чем то, на которое это здание было запроектировано. Построение такой кривой осуществляется, как правило, с использованием пакетов конечно-элементного анализа, которые позволяют производить расчет пространственной модели здания в физически нелинейной постановке. Однако далеко не во всех таких пакетах имеется однозначный критерий, определяющий явным образом момент превращения конструкции в механизм и ее последующее разрушение. Кроме того, в числе наиболее широко используемых для построения кривой несущей способности программных продуктов, дающих также возможность проводить физические нелинейные расчеты, предполагается, что инженер должен заранее определить в элементах расчетной схемы зоны, в которых в процессе нагружения конструкции будут образовываться пластические шарниры, т.е. самостоятельно назначить схему разрушения конструкции. При этом в некоторых случаях действительная схема разрушения может существенно отличаться от определяемой пользователем, что может привести к неточному прогнозу поведения системы. В данной статье предложена методика построения кривой несущей способности здания, основанная на строгой оценке предельной горизонтальной нагрузки, определен критерий разрушения конструкции.

Ключевые слова: кривая несущей способности, монотонно возрастающая нагрузка, предельная горизонтальная нагрузка, состояние предельного равновесия, метод псевдожесткостей, зона образования пластических деформаций, предельное горизонтальное перемещение верха здания.

Nonlinear calculations

UDC 624.04. BUILDING'S CAPACITY CURVE DEVELOPING METHOD. A.Yu. Ivanov, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: andreyivanov4@gmail.com.

Abstract. Capacity curve represent the behavior of a certain building under monotone load increment due the whole process of its action till collapse. With a help of capacity curve in foreign engineering practice a building seismic performance can be evaluated considering any possible damage, which is inflicted to the building by a stronger seismic excitation than the design one. The capacity curve developing in modern engineering practice, as a rule, is performed using the finite-element analysis software suites, which are able to provide the inelastic structural analysis of a 3D model of building. However, by far not every analysis software can provide a clear criteria which indicates explicitly the moment of turning the construction into a mechanism and its subsequent collapse. In addition, among the most popular software for capacity curve developing, which also allow to provide physically-nonlinear computations, it is assumed that the structural engineer priori has to allocate elements of the analytic model plastic hinges formation zones, he independently assign a failure scheme of the structure. However, in some cases the actual failure scheme may differ from that specified by the user that may lead to an erroneous prediction of inelastic behavior of structure. In this article the capacity curve developing method is suggested which is based on the accurate estimation of the ultimate lateral load, and the structure collapse criteria is proposed.

Key words: capacity curve, monotone increase of load, ultimate lateral load, state of limit equilibrium, pseudostiffness method, plastic hinges formation zone, ultimate lateral top displacement of building.

К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ¹, д.т.н., проф., Б.С. СОКОЛОВ², к.т.н. ¹ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), ²НИИЖБ им.А.А.Гвоздева (АО «НИЦ «Строительство»), г.Москва; e-mail: stroymex@list.ru, moo-shell@mail.ru

НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ СЕЧЕНИЙ РЕБЕР КУПОЛОВ...48

Анализ работы натуральных конструкций куполов из клееной древесины и многочисленные предварительные расчеты показали возможность экономии материалов за счет уменьшения высоты сечения меридиональных ребер. Особенно это эффективно при включении при проектировании обшивок, выполняющих роль ограждающих конструкций, в совместную работу с элементами каркаса (кольцевыми и меридиональными ребрами). Многократная статическая неопределенность такой конструкции допускает нелинейную ее работу и перераспределение усилий при неравномерных нагрузках. При этом обшивки воспринимают значительную часть усилий, возникающих в оболочке, а ребра оказываются недогруженными. Выполнены численные расчеты оболочки в режиме реального времени при ступенчатой изменяющейся односторонней (на половине покрытия) нагрузке с учетом сезонных ее колебаний в течение 5,4 лет. Исследовано НДС всех элементов. Для анализа работы каркаса расчет выполняется методом интегрального модуля, позволяющего контролировать силовое сопротивление конструкции в любой момент ее эксплуатации. Разработаны рекомендации по назначению размеров сечений оболочки при проектировании.

Ключевые слова: купола из клееной древесины, пластические деформации, сложное напряженное состояние, численные расчеты, метод интегрального модуля, рациональные размеры сечений элементов.

UDC 624.042. NONLINEAR ANALYSIS OF STATICALLY INDETERMINATE WOODEN STRUCTURES AND OPTIMIZATION OF CROSS SECTIONS OF DOME RIBS. K.P. Pyatikrestovskiy¹, B.S. Sokolov², Research Centre «Construction», ¹Koucherenko TSNIISK, ²Gvozdev NIIZHB, Moscow, Russia; e-mail: stroymex@list.ru.

Abstract. The analysis of the work of natural structures of the domes from laminated wood and numerous preliminary calculations have showed the possibility of saving materials by reducing a height of a cross section of meridional ribs. It is especially effective while designing the cladding as enclosing structures in collaboration with the elements of the frame (ring and meridional edges). Multiple static indeterminateness of such structure allows its non-linear work, and the redistribution of efforts under uneven loads. In this case, the sheathings take a significant part of efforts that occur in the shell, and the ribs are underloaded. Numerical computer calculations in real time mode at a step-changing unilateral load are carried out taking into account its seasonal variations during 5.4 years. The VAT of all elements is investigated. For the analysis of the frame the calculation is performed by the method of integral module, which allows to control the strength resistance of the structure at any time of its operation.

Key words: laminated wood domes, plastic deformation, complex stress state, numerical calculations, integral module method, rational dimensions of cross sections of elements.

Расчеты на устойчивость

А.Р. ОЛУРОМБИ, инж. ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: alexolrich@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОСТАВКИ СТАЛЬНЫХ ТРУБ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ С ИЗГИБОМ...57

Цель работы — определить влияние состояния поставки на несущую способность электросварных труб. Для этого проводятся исследования материалов труб, по результатам которых выявляются значительные отличия в формах диаграмм «σ–ε» [1]. В частности имеют место классические диаграммы с протяженной площадкой текучести и диаграммы с невыраженной площадкой текучести. Материалы также имеют различные отношения предела пропорциональности к пределу текучести. Приведенные в статье исследования нацелены установить степень влияния подобных отличий на несущую способность стальных труб. Рассматриваются вопросы общей и местной устойчивости сжато-изгибаемого трубчатого элемента. В качестве инструмента исследования используется пакет программ для конечно-элементного анализа Femap with NX Nastran. Первая группа моделей содержит толстостенные трубы сечением 530×24 мм и различной условной гибкостью ($\lambda \approx 0,5 \div 5,5$). Рассматривается случай условного центрального сжатия (с учетом случайных эксцентриситетов). Результаты расчета в различных вариациях диаграмм деформирования в этой группе сравниваются с расчетом по СП 16.13330.2017 и между собой, определяется влияние состояния поставки на общую устойчивость. Вторая группа состоит из тонкостенных труб сечением 530×5 мм и условной гибкостью $\lambda \approx 0,5$. Задаются варианты эксцентриситетов от 10 до 300 мм. Результаты расчета по разным диаграммам «σ–ε» также сравниваются с нормами и между собой, устанавливается влияние состояния поставки труб на местную устойчивость. Определена степень влияния состояния поставки на несущую способность электросварных труб. Получены значения расхождений численных расчетов по фактическим диаграммам «σ–ε» с расчетами по СП «Стальные конструкции». При проверке местной устойчивости нормы дают запас несущей способности, при проверке общей напротив — завышают. Данный эффект усиливается для сталей без объемной термической обработки.

Ключевые слова: электросварная труба, общая устойчивость, местная устойчивость, состояние поставки, диаграмма деформирования стали.

Stability calculations

UDC 624.075.2. INFLUENCE THE STATE OF SUPPLY STEEL TUBES ON THE BEARING ABILITY IN COMPRESSION WITH BENDING. A.R. Olurombi, V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Constructions, Moscow; e-mail: alexolrich@gmail.com

Abstract. Objective — to determine the effect of the delivery condition on the carrying capacity of electric-welded pipes. For this, studies of pipe materials are carried out, the results of which reveal significant differences in the shapes of the «σ–ε» diagrams [1]. In particular, there are classical diagrams with an extended yield point and diagrams with an unexpressed yield area. Materials also have different proportional to yield strength ratios. The studies cited in the article aim to establish the degree of influence of such differences on the carrying capacity of steel pipes. The issues of general and local stability of a compressible-bending tubular element are considered. As a research tool, the software package for the finite element analysis Femap with NX Nastran is used. The first group of models contains thick-walled pipes with a section of 530×24 mm and various conventional flexibility ($\lambda \approx 0,5 \div 5,5$). The case of conditional central compression (taking into account random eccentricities) is considered. The results of the calculation in different variations of the deformation diagrams in this group are compared with the calculation by SP 16.13330.2017 and among themselves, the effect of the state of supply on the overall stability is determined. The second group consists of thin-walled pipes with a section of 530×5 mm and conditional flexibility $\lambda \approx 0,5$. Eccentricity options from 10 to 300 mm are set. The results of the calculation according to different diagrams «σ–ε» are also compared with the norms and between themselves, the influence of the state of the supply of pipes on local stability is established. The degree of influence of the delivery condition on the carrying capacity of electric welded pipes was determined. The obtained values of the discrepancies of numerical calculations for the actual chart «σ–ε» with calculations for the joint venture «Steel structures». When checking the local stability of the norm give a margin of carrying capacity, when checking the general opposite - overstate. This effect is enhanced for steels without bulk heat treatment.

Key words: electric welded pipe, general stability, local stability, the state of supply, steel deformation diagram.

Численные методы

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

ПРИМЕР ПОСТЕПЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МЕТОДА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ...64

Рассматривается пример постепенного преобразования системы уравнений метода дополнительных конечных элементов (МДКЭ) в соответствии с идеальной моделью разрушения конструкции. Для выполнения этой операции МДКЭ использует дополнительные расчетные схемы из дополнительных конечных элементов (ДКЭ). Для иллюстрации этого процесса рассмотрено изменение расчетной схемы изгибаемой бетонной консоли от начала нагружения до разрушения. Поскольку эта конструкция проявляет четыре физически нелинейных свойства к моменту достижения ее предельного состояния, то система уравнений меняется при появлении каждого из этих свойств.

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

Numerical methods

UDC 624.04 + 624.07. EXAMPLE OF GRADUAL TRANSFORMATION OF THE SET OF EQUATIONS AT ADDITIONAL FINITE ELEMENT METHOD. A.E. Ermakova, South Ural State University (NRU), Chelyabinsk; email: annaolga11@gmail.com.

Abstract. The paper considers the example of gradual transformation of the set of equations of Additional Finite Element Method (AFEM) according to ideal failure model of structure. AFEM uses the additional design diagrams and additional finite elements (AFE) for fulfillment of this operation. The transformation of design diagram of bended concrete console from the beginning of loading to collapse is illustrated of this process. The structure reveals four physical nonlinear properties before its limit state and set of equations changes under influence of each nonlinear property.

Key words: additional finite element method, finite element method, set of equations, additional design diagram, additional finite element, ideal failure model.

В помощь проектировщику

К.А. НАЗАРОВА, инж. (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: nazarovaks@bk.ru)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТОВ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ПО НОРМАМ СП 52810182003, СНиП 2.03.01.884* И КОДЕКС ОБРАЗЕЦ ЕКБ/ФИП...72

Ширина раскрытия трещин является важнейшей характеристикой работы железобетонных конструкций для обеспечения надежности и долговечности. У исследователей не сложилось единого мнения о влиянии различных параметров на процесс развития трещин в железобетонных конструкциях. Экспериментальные исследования дают противоречивую картину – влияние одних и тех же параметров оценивается по-разному. Это находит свое отражение в нормативной литературе проведен расчет ширины раскрытия нормальных трещин центрально растянутых железобетонных элементов по российским (СП 52-101-2003 и СНиП 2.03.01-84*) и зарубежным нормам (кодекс-образец ЕКБ/ФИП). Результаты сведены в таблицу, выполнен сравнительный анализ и сопоставление с опытными данными. Построены диаграммы на основе полученных результатов для различных процентов армирования и сделаны выводы.

Ключевые слова: ширина раскрытия трещин, расстояние между трещинами, напряжение.

To help the designer

UDC 624.012.4-183.2. COMPARATIVE ANALYSIS OF CALCULATIONS OF THE CRACKLING DISTRIBUTION WIDTH ACCORDING TO STANDARDS SP 52810182003, SNiP 2.03.01884 * AND CODES SAMPLE ECB/FIP. K.A. Nazarova, SaintPetersburg state university of architecture and civil engineering; email: nazarovaks@bk.ru

Abstract: Crack opening width is the most important characteristic of the operation of reinforced concrete structures to ensure reliability and durability. The researchers did not have a consensus on the effect of various parameters on the process of the development of cracks in reinforced concrete structures. Experimental studies provide a contradictory picture - the effect of the same parameters is evaluated differently. This is reflected in the regulatory literature. The calculation of the width of the opening of normal cracks of centrally stretched reinforced concrete elements according to Russian (SP 52-101-2003 and SNiP 2.03.01-84 *) and foreign standards (ECB/FIP sample code). Results are tabulated, comparative analysis and comparison with experimental data were carried out, charts were constructed on the basis of the results obtained for different percentages of reinforcement, and conclusions were drawn.

Key words: cracks, crack opening width, distance between cracks, stress.

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

А.И. МОРДИЧ¹, к.т.н., действ. ин.член РААСН, **С.В. БОСАКОВ²**, д.т.н., проф. ¹ООО «БЭСТинжиниринг», ²БНТУ, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск, Республика Беларусь; e-mail: Sevibo@yahoo.com

УДК 539.3. ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНКИ, РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ТОРЦЕ КРУГОВОГО ЦИЛИНДРА...8

Приведено численное решение осесимметричной контактной задачи для круглой пластинки, лежащей без трения на торце кругового цилиндра ограниченной длины под действием вертикальной внешней нагрузки. Цилиндр опирается на жесткое недеформируемое основание. Обзор задач об осесимметричной деформации упругих тел выполнен в [1]. Задача решается в два этапа. На первом этапе с использованием вариационно-разностного метода определяются вертикальные перемещения точек торца цилиндра от равномерно распределенной по кольцевой области торца цилиндра нагрузки. На втором этапе способом Б.Н. Жемочкина определяется распределение контактных напряжений под подошвой круглой пластинки. Коэффициенты уравнений способа Б.Н. Жемочкина определяются на основании результатов первого этапа. Приведен пример расчета круглой металлической центрирующей прокладки, расположенной на стыке двух железобетонных колонн круглого поперечного сечения. Показано распределение вертикальных нормальных напряжений по нескольким горизонтальным сечениям колонны. Обнаружено значительное увеличение в контактных напряжениях под центром пластинки по сравнению с аналогично нагруженной пластинкой на упругом полупространстве.

Ключевые слова: контактная задача, способ Жемочкина, вариационно-разностный метод, круговой цилиндр, центрирующая прокладка.

UDC 539.3. **AXISYMMETRIC CONTACT PROBLEM FOR A CIRCULAR PLATE LOCATED AT THE END OF A CIRCULAR CYLINDER.** A.I. Mordich, full foreign member of the RAASN, S.V. Bosakov, BNTU, Minsk; e-mail: Sevibo@yahoo.com.

Abstract. The paper presents a numerical solution of the axisymmetric contact problem for a circular plate lying frictionless on the end of a circular cylinder of limited length under the action of a vertical external load. The cylinder rests on a rigid non-deformable base. An overview of the problems of axisymmetric deformation is performed in [1]. The problem is solved in two stages. At the first stage, the vertical displacements of the cylinder end points from the load uniformly distributed over the annular region of the cylinder end are determined using the variational-difference method. At the second stage, B. N. Semochkin's method is determined by the distribution of contact stresses under the foot of a circular plate. The coefficients of the equations of B. N. Zhemochkin's method are determined on the basis of the results of the first stage. An example of calculation of a round metal centering gasket located at the junction of two reinforced concrete columns of circular cross-section is given. The distribution of vertical normal stresses over several horizontal sections of the column is shown. A significant increase in the contact stresses under the center of the plate was found in comparison with a similarly loaded plate on the elastic half-space.

Key words: contact problem, Semochkin's method, variational — difference method, circular cylinder, the centering strip.

М.С. ЦАРЕВ^{1,2}, инж., **К.П. ПЯТИКРЕСТОВСКИЙ²**, д.т.н. ¹Институт природообустройства имени А.Н. Костякова, ²ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»), г. Москва; e-mail: m1906@yandex.ru.

УДК 624.01.25. ОБОБЩЕНИЕ РАСЧЕТА ШИРИНЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК...12

Представлено решение по определению ширины поперечного ребра жесткости для длинной пластины, подкрепленной рядом поперечных ребер жесткости, при отношении сторон панели $a/h_w < 1$ под действием чистого сдвига. В соответствии с полученным решением размеры поперечного ребра зависят от длины панели, отношения сторон панели и толщины стенки изгибаемого элемента. Предложено обобщающее решение по расчету ширины упругого поперечного ребра для длинной пластины, подкрепленной рядом поперечных ребер в диапазоне отношения сторон панели $a/h_w = 0,33...2,5$. Выполнен сравнительный анализ значений момента инерции поперечного ребра жесткости и обеспечения местной устойчивости сжатой пластинки ребра с учетом отечественных и зарубежных норм проектирования. Решение по определению сечения поперечных ребер жесткости развито для обеспечения местной устойчивости стенок двутавровых балок. В дальнейшем, полученные результаты будут сравниваться с экспериментами, полученными в ЦНИИСК имени В.А. Кучеренко под руководством И.И. Ведякова и могут быть использованы при очередном уточнении норм.

Ключевые слова: металлические конструкции, поперечное ребро жесткости, ширина ребра, нормы проектирования, устойчивость стенки, чистый сдвиг.

UDC 624.01.25. **Generalization of width calculation of intermediate transverse stiffener of metal I-beams.** M.S. Tsarev, Institute of Nature Management named after A.N. Kostyakov, Moscow K.P. Pyatikrestovskiy, Koucherenko TSNIISK, Moscow; e-mail: m1906@yandex.ru.

Abstract. The article presents a solution to determine width of a transverse stiffener for a long plate supported by a number of transverse stiffeners under the action of net shear when $a/h_w < 1$ ratio of panel sides. According to the obtained solution the dimensions of the transverse rib depend on the length of the panel, the ratio of the panel sides and the wall thickness of the bent element. A generalizing solution is proposed to calculate the width of an elastic transverse rib for a long plate supported by a number of transverse ribs in the range of the ratio of the panel sides $a/h_w = 0,33...2,5$. The article gives the comparative analysis of the values of the inertia moment of the transverse stiffener and the solutions for ensuring local stability of the compressed plate of the rib, taking into account domestic and foreign design standards. The solution for determining the cross-section of the transverse stiffeners is developed to ensure local stability of the walls of I-beams. In the future, the results will be compared with the experiments obtained at the Central Research Institute named after V.A. Kucherenko under the governance of I.I. Vedyakov and will be used for the next improvement of the standards.

Key words: metal structures, transverse stiffener, width of a rib, design standards, sustainability of walls, net shift.

Д.К. АРЛЕНИНОВ, д.т.н., проф., Т.В. ПОТАПОВА, инж., А.В. РОГОЖИНА, инж. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
УДК 624.046. О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ...19

Нормативная методика расчета сжато-изгибаемых деревянных элементов была разработана почти 100 лет назад. За это время она претерпела небольшие изменения, в сторону расширения области применения, которые вошли в последнюю редакцию СНиП II-25-80. С появлением современных вычислительных комплексов в начале века вновь возник научно-практический интерес к совершенствованию методик расчета деревянных конструкций и, в частности к методике расчета сжато-изгибаемых элементов. В статье анализируются отдельные неточности нормативной методики, которые влияют на корректность результатов расчета.

Ключевые слова: методика расчета, деревянные конструкции, сжато-изгибаемый элемент, прогиб, критическая сила.

UDC 624.046. **ON THE METHOD OF CALCULATION OF COMPRESSED-BENT WOODEN ELEMENTS.** D.K. Arleninov, T.V. Potapova, A.V. Rogozhina, Moscow State University of Civil Engineering; e-mail: dkarleninov@mail.ru.

The standard method of calculation of the compressed-bent wooden elements was developed almost 100 years ago. During this time, it has undergone minor changes in the direction of expanding the scope, which were included in the latest version of SNiP II-25-80. With the advent of modern computing systems at the beginning of the century, scientific and practical interest in improving the methods of calculation of wooden structures and, in particular, to the method of calculation of the compressed-bent elements arose again. The article analyzes some inaccuracies of the regulatory methodology that affect the correctness of the calculation results.

Key words: calculation method, wooden structures, compressed-bent element, deflection, critical force.

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

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

УДК 519.633. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ЦЕНТРАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ИДЕАЛЬНО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ...22

Получены дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для центрально-симметричного одномерного идеально упругопластического деформирования сплошных сред при билинейной аппроксимации замыкающих уравнений с учетом и без учета геометрической нелинейности в декартовой системе координат. Приняв гипотезу о независимости, вообще говоря, друг от друга диаграмм нелинейного объемного и идеально упруго-пластического сдвигового деформирования, рассмотрены пять основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома билинейных диаграмм объемного и сдвигового деформирования. Физические зависимости основаны на вычислении секущих модулей объемного и сдвигового деформирования. На первом участке диаграмм секущий модуль и объемного, и сдвигового деформирования постоянен, на втором участке — секущий модуль объемного деформирования является функцией объемной деформации, а секущий модуль сдвига является функцией интенсивности деформаций сдвига. Модуль упрочнения при сдвиге идеально упруго-пластической среды принимается равным нулю. Подставляя соответствующие билинейные физические уравнения в дифференциальные уравнения равновесия сплошной среды с учетом и без учета геометрической нелинейности, получены разрешающие дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для центрально-симметричной одномерной идеально упругопластической деформации в декартовой системе координат. Приведенные в статье дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут использоваться при определении напряженно-деформированного состояния сплошных сред, находящихся в условиях центрально-симметричного одномерного идеально упругопластического деформирования с учетом и без учета геометрической нелинейности, физические соотношения для которых аппроксимированы билинейными функциями.

Ключевые слова: сплошная среда, дифференциальные уравнения равновесия, центрально-симметричная деформация, идеальная пластичность, билинейные замыкающие уравнения.

UDC 519.633. **DIFFERENTIAL EQUATIONS OF EQUILIBRIUM OF CENTRALLY SYMMETRIC DEFORMATION FOR ELASTIC-PERFECTLY-PLASTIC CONTINUUM AT COMBINED STRESS STATE.** S.V. Bakushev, Penza State University of Architecture and Construction; e-mail: office@pguas.ru.

Abstract. There have been received displacement differential equations of equilibrium for centrally symmetric one-dimensional elastic-perfectly-plastic deformation of continuum at bilinear approximation of closing equations regarding and regardless geometrical nonlinearity in Cartesian reference system. Bearing in mind the hypothesis about independence of nonlinear volume deformation diagram and elastic-perfectly-plastic shearing deformation diagram, there have been analyzed five main cases of physical dependences, depending on mutual arrangement of breaking points of bilinear diagrams of volume and shearing deformation. Physical dependences are based on calculation of secant modulus of volume and shearing deformation. At the first part of the diagram the secant module of both volume and shearing deformation is constant; at the second part the secant module of volume deformation is a function of volume deformation, whereas the secant module of shearing is a function of shearing deformations intensity. Hardening module at shearing of elastic-perfectly-plastic continuum is considered to be equal to zero. Putting corresponding bilinear physical equations into differential equations of equilibrium of continuum regarding and regardless geometrical nonlinearity, resolving differential equations of equilibrium in displacements for centrally symmetrical one-dimensional elastic-perfectly-plastic deformation at Cartesian reference system were received. Provided in the present article differential equations of equilibrium in displacements can be used at determination of strain-stress state of continuum at centrally symmetrical one-dimensional elastic-perfectly-plastic deformation regarding and regardless geometrical nonlinearity, physical relations of which are approximated by bilinear functions.

Key words: continuum, differential equations of equilibrium, centrally symmetrical deformation, perfect plasticity, bilinear closing equations.

А.Ю. ИВАНОВ, инж. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; e-mail: andreivanov4@gmail.com.

УДК 624.04. ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОДНОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ...32

В предыдущей статье, посвященной методике построения кривой несущей способности здания, приведена теоретическая основа для ее получения. Определены основные параметры, необходимые для построения кривой несущей способности, предложены последовательные шаги, позволяющие вычислить эти параметры. Однако без конкретного примера расчета описание данной методики представляется неполным. В связи с этим в данной статье приводится пример построения кривой несущей способности для одноэтажного каркасного здания, описывающий производимые на каждом этапе расчеты.

Ключевые слова: кривая несущей способности, одноэтажное каркасное здание, монотонно возрастающая нагрузка, предельная горизонтальная нагрузка, состояние предельного равновесия, зона образования пластических деформаций, предельное горизонтальное перемещение верха здания.

UDC 624.04. CAPACITY CURVE DEVELOPING FOR THE CASE OF ONE-STORY FRAMED BUILDING. A.Yu. Ivanov, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; e-mail: andreyivanov4@gmail.com

Abstract. In the article devoted to capacity curve developing method the theoretical base is presented. Basic parameters, which are necessary for capacity curve creation, are determined, and consistent steps, which allow to compute these parameters, are proposed. However, without any specific example the presentation of the method under consideration is deemed to be incomplete. Therefore, in present article the example of capacity curve construction for the case of one-story framed building, is given, with providing descriptions of computations for each step.

Key words: capacity curve, one-story framed building, monotone increase of load, ultimate lateral load, state of limit equilibrium, plastic hinges formation zone, ultimate lateral top displacement of building.

Динамические расчеты

О.П. НЕСТЕРОВА¹ к.т.н., доц., **Н.А. ПОЛОРОТОВА²**, инж., **А.М. УЗДИН²**, д.т.н., проф. (ГАСУ, ²ПГУПС, г. Санкт-Петербург; e-mail: neona@mail.ru)

УДК 649.042.7. ЗАДАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПОСТРОЕНИЕ МАТРИЦЫ ДЕМПФИРОВАНИЯ...40

Рассмотрены причины потерь энергии при колебаниях упругих систем и способы их описания в уравнениях колебаний. Выделены внешнее затухание, конструкционное демпфирование, внутреннее трение в материале и передача энергии в окружающую среду. Детально рассмотрены гипотезы, используемые при описании внутреннего трения в материале, в том числе, гипотеза Е.С. Сорокина, представление Рэлея и распределение потерь энергии по формам колебаний пропорционально энергии форм. Показано, что результаты расчетов с использованием указанных гипотез могут различаться. Различие особенно существенно при затухании в материале более, чем 15% от критического значения. Приведены критерии оценки возможности замены произвольного демпфирования пропорциональным, т.е. возможности разложения уравнений движения по формам колебаний недемпфированной системы. Такое упрощение возможно, если во всех элементах системы затухание не превосходит 15% от критического, а также в случаях (при любом демпфировании в элементах) когда коэффициенты корреляции форм колебаний много меньше 1. Приведен пример расчета.

Ключевые слова: демпфирование колебаний, причины, способы учета, матрица демпфирования.

Dynamic calculations

UDC 649.042.7.SETTING DAMPING CHARACTERISTICS OF DYNAMIC SYSTEMS AND CONSTRUCTING DAMPING MATRIXES. O.P.Nesterova, St.Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, N.A.Polorotova, A.M.Uzdin, St.Petersburg University of Railways; e-mail:neona@mail.ru.

Abstract. The causes of energy losses for elastic system vibrations and methods of describing damping in oscillation equations are considered. External attenuation, structural damping, internal friction in the material and the energy transfer to the environment are highlighted. The hypotheses used in the description of internal friction in the material are examined in detail, including the hypothesis of E.S.Sorokin, Rayleigh's presentation of damping and those of distribution of modal energy losses in proportion to the mode energy. It is shown that the results of calculations using these hypotheses may vary. The difference is especially significant when attenuation in the material exceed 15% of the critical value. Criteria for assessing the possibility of replacing arbitrary damping by proportional one, i.e., the possibility of expanding the motion equations in the oscillation modes of a non-damped system are given. Such a simplification is possible if damping in system members does not exceed 15% of the critical value, as well as in cases (with any damping in the elements) when the correlation coefficients of the vibration modes are much less than 1. An example of calculations is given.

Key words: vibration damping, causes, accounting methods, damping matrix.

Геометрические расчеты

Е.А. ГРИНЬКО, инж. (Российский университет дружбы народов, г. Москва; e-mail: grinechka@mail.ru)

УДК 539.3. КАПЛЕВИДНЫЕ ОБОЛОЧКИ...50

В понятие каплевидной поверхности вкладывается несколько форм поверхностей вращения. Каплевидная оболочка – это тонкостенная оболочка, имеющая форму капли на горизонтальной плоскости и опирающаяся на основание плоским дном. Каплевидный резервуар – это каплевидная металлическая оболочка, которой пытаются придать форму оболочки равного сопротивления и заставить ее работать в безмоментном состоянии. Рассмотрены различные применения каплевидной оболочки, приведен обзор методов статического расчета каплевидных оболочек, даны рекомендации по упрощенному выбору оптимальной каплевидной оболочки.

Ключевые слова: каплевидная оболочка, каплевидная поверхность, каплевидный резервуар, оболочка равного сопротивления, водонапорная башня.

Geometric calculations

UDC 539.3.DROP-SHAPED SHELLS. E.A. Grinko, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow; e-mail: grinechka@mail.ru.

Abstract. Several shapes of surfaces of revolution are called drop-shaped shells. Drop-shaped shell is a thin-walled shell with plane bottom having the form of a drop lying on horizontal plane. Drop-shaped reservoir is a drop-shaped metal shell for which they try to give the form of equal resistance shell and to force it to work in momentless condition. In a paper, different applications of drop-shaped shells are discussed, a review of the methods of static analysis of them is presented, and recommendations on simplified choice of optimal drop-shaped shell are given.

Key words: drop-shaped shell, drop-shaped surface, drop-shaped reservoir, equal resistance shell, water tower.

Основание и фундаменты

Foundation and foundations

А.Г. АЛЕКСЕЕВ, к.т.н., доц. (НИИОСП им.Н.М.Герсеванова (АО «НИИ «Строительство»), МГСУ, г.Москва; e-mail:adr-alekseev@yandex.ru)

УДК 624.15. ВОЗДЕЙСТВИЕ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ ГРУНТА НА СВАИ ПРИ РАБОТЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРОВ...57

Статья посвящена исследованию взаимодействия одиночных свай с промерзающим при работе термостабилизаторов грунтом слоя сезонного промерзания – оттаивания. Представлен расчет давления морозного пучения, действующего на сваю в результате промерзания грунтового цилиндра вокруг термостабилизаторов. В статье описан подход к расчету одиночных консольных свай с высоким и низким ростверком с учетом расчетного отпора грунта, используя гипотезу Винклера. Приведены зависимости давления пучения от деформационных свойств грунта и относительной деформации морозного пучения, а также зависимости момента и перемещения головы сваи от величины деформации морозного пучения грунта.

Ключевые слова: свая, давление морозного пучения, сезонно охлаждаемое устройство, термостабилизатор.

UDC 624.15.INFLUENCE OF FROZEN GROUND LEARNING ON PILES WHEN OPERATING THERMAL STABILIZERS. A.G. Alekseev, Gerssevanov NIIOSP, Moscow State University of Civil Engineering; e-mail: adr-alekseev@yandex.ru.

Abstract. The article is devoted to the study of the interaction of single piles with the freezing soil of the seasonal freezing-thawing layer during the operation of soil thermo-stabilizers. The calculation of the pressure of frost heave acting on the pile as a result of the freezing of the ground cylinder around the soil thermo-stabilizers is presented. The article describes an approach to the calculation of single cantilever piles with high and low grillage, taking into account the calculated resistance of the soil, using the Winkler hypothesis. The dependences of the heave pressure on the stress-strain behaviour of the soil and the relative deformation of the frost heave, as well as the dependence of the moment and movement of the head of the pile on the deformation of the frost heave of the soil.

Key words: pile, pressure of frost heave, seasonal cooling device, thermo-stabilizers.

А.А. КОЯНКИН¹, к.т.н., **А.Г. ИЛИЗАРОВ²**, к.т.н. ¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, e-mail: KoyankinAA@mail.ru; ²Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск

УДК 69.04. МЕТОДИКА РАСЧЕТА БАЛКИ С ЛОКАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ЖЕСТКОСТИ, ВЫПОЛНЯЕМОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МГНОВЕННОГО ПРЕРЫВАТЕЛЯ ГЕРСЕВАНОВА...65

Балки постоянного сечения, в которых присутствуют места локального изменения жесткости (вырез, отверстие, сборно-монолитные перекрытия выполняемое посредством плитопалубок и т.д.), в практике современного строительства достаточно распространены. В то же время отсутствие простых методов расчета не позволяет провести расчет таких балок без применения соответствующих программных комплексов. Именно по этой причине авторы данной статьи разработали методику расчета балки с локальным изменением жесткости, основанной на применении мгновенного прерывателя Герсеванова, вводимого в дифференциальное уравнение оси изогнутой балки, что приводит к кусочно-линейному представлению функции жесткости по длине элемента (постоянная по длине изгибная жесткость локально меняется на малом участке).

Ключевые слова: балка с локальным изменением жесткости, мгновенный прерыватель Герсеванова, дифференциальное уравнение изгиба.

UDC 69.04.THE METHOD OF CALCULATING BEAMS WITH A LOCAL CHANGE IN STIFFNESS, PERFORMED USING AN INSTANTANEOUS GERSEVANOV BREAKER. A.A. Koyankin, Siberian Federal University, Krasnoyarsk; e-mail: KoyankinAA@mail.ru.A.G. Ilizarov, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk.

Abstract. Beams of constant cross-section, in which there are places of local changes in stiffness (cutout, hole, etc.), in the practice of modern construction are quite common. At the same time, the lack of simple methods of calculation does not allow the calculation of such beams without the use of appropriate software packages. It is for this reason that the authors of this article have developed a method for calculating the beam with a local change in stiffness, based on the use of instantaneous interrupter Gerssevanov introduced into the differential equation of the axis of the curved beam, which leads to a piecewise linear representation of the stiffness function along the length of the element (constant length Flexural stiffness varies locally on a small area).

Key words: beam with a local change in the stiffness, nstantaneous breaker Gerssevanov, differential equation of bending.

В.С. УТКИН, д.т.н., проф., **И.А. КОРЕПИНА**, инж. Вологодский государственный университет; e-mail:utkinvogtu@mail.ru

УДК 624.15. РАСЧЕТ ШЕЛЕВЫХ ФУНДАМЕНТОВ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ПО ОСАДКЕ...69

Предложена новая расчетная схема работы фундамента в грунте основания и на ее основе сформулирована теория расчета фундамента по осадке. На первой стадии исследования рассмотрен расчет осадки фундамента только за счет деформации (укорочения) фундамента по его высоте. Такой вид осадки имеет место в тех случаях, в которых выс прилагаемая к телу фундамента эксплуатационная нагрузка воспринимается и уравновешивается силами трения-сцепления по боковой поверхности фундамента и реакции от грунта под подошвой фундамента отсутствуют. В работе рассмотрен метод расчета таких фундаментов на осадку, представлена расчетная схема работы фундамента, приведен вывод расчетных формул и числовой пример расчета фундамента на осадку за счет деформации его материала.

Ключевые слова: шелевой фундамент, глубокое заложение, ограниченная осадка, расчетная схема, трение-сцепление, расчетная формула, пример расчета.

UDC 624.15.CALCULATION OF DEEP SLOTTED FOUNDATIONS BY SEDIMENT. V.S. Utkin, I.A. Korepina, Vologda State University; e-mail:utkinvogtu@mail.ru.

Abstract. The article proposes a new design scheme of the foundation in the ground base and on its basis formulated the theory of calculation of the foundation of the sediment. At the first stage of the study, the calculation of the foundation precipitation is considered only due to deformation (shortening) of the foundation by its height. This type of precipitation occurs in those cases in which all the applied to the foundation body operating load is perceived and balanced by friction-adhesion on the side surface of the foundation and the reaction from the ground under the sole of the foundation are absent. The work is potentially useful in the development of normative documents for the calculation of slotted foundations with a new explanation of the occurrence of friction-adhesion forces on the side surfaces of the foundation for the design of buildings and structures with deep foundations with a maximum limitation of the value of its precipitation.

Key words: slotted foundation, deep foundation, limited sediment, design scheme, friction-adhesion, calculation formula, example of calculation.