

АНАЛИЗ НА ПЛОЧИ ПО МЕТОДА НА ЕЛАСТИЧНАТА СХЕМА ЧРЕЗ КОРЕКТУРНИ КОЕФИЦИЕНТИ ПОЛУЧЕНИ ПО МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ

Анита Хандрулева, Ана Янакиева, Константин Казаков

Резюме: Статията представя методика, основана на коректурни коефициенти, с която се уточняват изразите за получаване на огъващите моменти в правоъгълни плочи, изчислявани по еластична схема. Първоначално е направена съпоставка на обобщените коефициенти намерени в литературата. Коректурни коефициенти са получени чрез Метода на крайните елементи (МКЕ) и се отнасят за модел на тънки еластична плочи. Допълнително са сравнени и значенията им при отчитане на ъгловата деформативност на напречното сечение, т.е. модел на умерено дебела плоча. Изследването е направено за квадратна геометрия на плочата, но методиката може да се приложи и за правоъгълна форма.

ДИНАМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА КУПОЛНИ ПРЪТОВИ КОНСТРУКЦИИ ЧРЕЗ ТРИ МЕТОДА НА КОМБИНИРАНЕ ПО КООРДИНАТНИ НАПРАВЛЕНИЯ НА ЕФЕКТИТЕ ОТ СЕИЗМИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Анита Хандрулева, Константин Казаков, Банко Банков

Резюме: В тази статия са съпоставени теоретично и посредством числен експеримент различни методи на комбиниране по координатни направления на ефектите от сеизмично въздействие. Тези методи са възможностите, които ни предоставят Единните европейски конструктивни норми, в частност Eurocode 8. Отначало е направено едно теоретично сравнение, а след това е проведен числен експеримент върху модел на прътов купол с различни диаметри на основния пръстен по

двете координатни направления. Основно са съпоставени резултати за прътови усилия, получени посредством метода, основан на правилото SRSS (корен квадратен от сумата на квадратите на ефектите по координатни направления) и чрез метода, използващ правилото на 30-те процента. Накрая е потърсен вариант на метода CQC, чрез които се получават най-консервативни резултати, резултати в посока на сигурността при проектиране на сгради и съоръжения в сеизмични райони.

ANALYSIS OF RECTANGULAR PLATES BY THE ELASTIC SCHEME METHOD USING FEM CORRECTION COEFFICIENTS

Anita Handruleva, Ana Yanakieva and Konstantin Kazakov

Abstract: This study presents an approach, based on correction coefficients, by which bending moments in rectangular plates, obtained by the elastic scheme method, can more accurately be calculated. At first, the well-known generalized coefficients, used in the elastic scheme method, taken from different literature sources are juxtaposed. The correction coefficients are obtained by the FEM according to the thin elastic plate theory. On the next stage, by taking into the shear deformability of the plate cross section the values of these coefficients are given in more precise form. The research is made for quadratic plate, but the approach can be used as well to general rectangular shape of the plate.

СЪПОСТАВКА НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИ МОДЕЛИ НА ВЕРТИКАЛНИ НОСЕЩИ ЕЛЕМЕНТИ С ОТВОРИ ГЕНЕРИРАНИ ПОСРЕДСТВОМ МКЕ

Анита Хандрулева, Константин Казаков, Ана Янакиева

Резюме: Статията е посветена на изследване и съпоставка на деформирано и напрегнато състояние на вертикален носещ елемент (противоземетръсна шайба) с отвори. Сравнени са два типа изчислителни модели, основани съответно на дискретизация с гредови (beam) и равнинни (plane) крайни елементи. Като основни показатели за съпоставката са използвани премествания и разрезни усилия. Накрая са формулирани някои изводи и препоръки, които могат да бъдат използвани в практиката при конструктивния анализ на споменатия тип конструктивен елемент.

STRESS DISTRIBUTION AROUND CENTRALLY LOCATED HOLES IN PLATES OBTAINED BY FEM

Ana Yanakieva, Anita Handruleva, Konstantin Kazakov

Abstract: This paper presents the results concerning the stress distribution around centrally located holes, calculated by FEM models. The domain of the models is discretized by 2D plane finite elements using ANSYS Structural code. A practically applicable graph of the stress concentration factor (SCF) as a function of the ratio hole diameter to the plate width is finally obtained. The well-known theoretical solution, related to infinite plate is compared with the numerical one.

COMPARISON OF PLAIN PROBLEMS MODELLED BY DIFFERENT FE FORMULATIONS

Konstantin Kazakov, Ana Yanakieva, Anita Handruleva

Abstract: In the paper five plane stress finite element models are compared and discussed. In two of the models plane finite elements with two degrees of freedom for each node are used. In the others shell finite elements with additional reduction of the full number of the six degrees of freedom are used. The results, concerning the plane stress components, are juxtaposed and discussed in brief. The main accent of the comparison is detached on the so-called extra displacement shape functions and the Allman shape functions and corresponding to these functions degrees of freedom.

ON THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL GRID CONFIGURATION OVER THE STRESSES IN THE BASE RING OF SPHERICAL DOMES

Anita Handruleva, Konstantin Kazakov

Abstract: The paper demonstrates the influence of the structural grid configuration over the stresses, arising in the base circumferential ring beam of sphere domes. The structural effectiveness depends considerably on the type of the grid. Such effectiveness can be discussed from structural, technological and aesthetical point of view. The accent of the present research is focused on the structural aspects of the problem.

Three types of FEM computational models of spherical domes are generated in the SAP FEM code and the results of the base circumferential ring forces are compared. Two of the investigated models are models of ribbed (costal) domes and the third model is a model of a brace lattice (lamella) dome. The basic principle of the comparison is the minimum of the stresses in the base (circumferential) ring beam.

ВЛИЯНИЕ НА ДИСКРЕТИЗАЦИОННАТА МРЕЖА ВЪРХУ ТОЧНОСТТА НА ОГЪВЕН ЧЕТИРИЪГЪЛЕН КРАЕН ЕЛЕМЕНТ

Константин Казаков, Анита Хандрулева, Владимир Матуски

Резюме: В тази статия е изследвано влиянието на дискретизационната мрежа върху точността на огъвен четириъгълен краен елемент. Като обекти на изследване са разгледани двадесет и два модела на тънки плочи, за генерирането на които са използвани shell крайни елементи. Изчислителните модели се различават по вида на дискретизационната мрежа и по вида на граничните условия по контура. Натоварването е равномерно разпределено с интензивност $q=10 \text{ kN/m}^2$. Като основни параметри за съпоставка на изчислителните модели са избрани деформациите в характерни точки. Резултатите са представени в графичен и табличен вид.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПРЕГНАТОТО И ДЕФОРМИРАНО СЪСТОЯНИЕ НА ДИСКРЕТНИ СФЕРИЧНИ КУПОЛИ, ПОДЛОЖЕНИ НА НЕСИМЕТРИЧНО ВЕРТИКАЛНО НАТОВАРВАНЕ (РАДИАЛНО ПОДВИЖНИ ОПОРИ)

Анита Хандрулева, Владимир Матуски, Константин Казаков

Резюме: В тази статия е изследвано напрегнатото и деформирано състояние на дискретни сферични куполи, подложени на несиметрично вертикално натоварване. Като обекти на изследване са разгледани двадесет и четири модела на дискретни куполи, за генерирането на които са използвани frame крайни елементи. Изчислителните модели се различават по вида на структурната решетка. Направена е и съпоставка с гладки непрекъснати куполи, като за целта са изградени три допълнителни модела. Споменатите куполи са генерирани с shell крайни

елементи с различна размерност на дискретизационната мрежа. Съблюдавано е условието за еднаквост на преместването на приложната точка на силата, съпоставено с дискретните модели. Вертикалното натоварване е концентрирана сила, която се прилага в различни възли по радиалните ферми. Като основен параметър за съпоставка на изчислителните модели са избрани опорните реакции. Резултатите са представени в графичен и табличен вид.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПРЕГНАТОТО И ДЕФОРМИРАНО СЪСТОЯНИЕ НА ДИСКРЕТНИ СФЕРИЧНИ КУПОЛИ, ПОДЛОЖЕНИ НА НЕСИМЕТРИЧНО ВЕРТИКАЛНО НАТОВАРВАНЕ (НЕПОДВИЖНИ ОПОРИ)

Анита Хандрулева, Владимир Матуски, Константин Казаков, Банко Банков

Резюме: В тази статия е изследвано напрегнатото и деформирано състояние на дискретни сферични куполи, подложени на несиметрично вертикално натоварване. Като обекти на изследване са разгледани двадесет и три модела на дискретни куполи, за генерирането на които са използвани frame крайни елементи. Изчислителните модели се различават по вида на структурната решетка. Вертикалното натоварване е концентрирана сила, която се прилага в различни възли по радиалните ферми. Като основен параметър за съпоставка на изчислителните модели са избрани вертикалните опорните реакции. Резултатите са представени в графичен и табличен вид.

ВУРХУ КОНЦЕНТРАЦИЯ НА НАПРЕЖЕНИЯ В ХОМОГЕННИ ПЛОЧИ С ОТВОРИ

Анита Хандрулева, Владимир Матуски, Константин Казаков, Банко Банков

Резюме: В тази статия е изследвано напрегнатото и деформирано състояние на хомогенни плочи с отвори. Като обекти на изследване са разгледани тридесет модела на плочи, за генерирането на които са използвани shell крайни елементи. Изследването е параметрично с изменение на единия размер на плочата (широчина - b), а именно този по координатно направление x . Изчислителните модели се различават и по вида на дискретизационната мрежа в областта около отвора. Като основен параметър за съпоставка на изчислителните модели е избран коефициентът, отчитащ концентрацията на напрежения. Резултатите са представени в графичен и табличен вид.

FEM COMPUTATIONAL MODELS OF SHEAR WALLS WITH HOLES

ANITA HANDRULEVA, KONSTANTIN KAZAKOV AND ANA YANAKIEVA

Abstract: In the design of buildings to seismic effects of taking seismic forces on coordinate directions are widely used vertical bearing elements (walls) [1, 2, 3]. This necessitates knowledge of their actual mechanical behaviour order - modelling them adequately.

This study is devoted to comparison of shear wall computational models and juxtaposition of the displacement and stress fields. Two types of numerical models are compared. The first type concerns discretization of the geometry with beam finite elements, and the second type – with plane finite elements. The displacements and the internal forces are used as the key indicators for the comparison of the mechanical behaviour. Some conclusions and

recommendations, according to the application of the juxtaposed type computational models, to be used in the practice, are given. computational models, to be used in the practice, are given as well.

МЕТОДИКА ЗА ОТЧИТАНЕ НА ЪГЛОВАТА ДЕФОРМАТИВНОСТ И ДЕПЛАНАЦИЯТА НА НАПРЕЧНОТО СЕЧЕНИЕ НА ГРЕДОВИ ЕЛЕМЕНТИ ВЪРХУ МАКСИМАЛНОТО ИМ НАПРЕЧНО ПРЕМЕСТВАНЕ

Владимир Матуски, Анита Хандрулева, Константин Казаков

Резюме: В тази статия е изследвано деформираното състояние на гредови елемент, при който се взема под внимание както напречната деформативност, така и депланацията на сечението. Целта е да се предложи лесна за приложение методика за отчитане на тези влияния върху максималното напречно преместване. Тази цел е постигната посредством съпоставка и анализ на резултати от модели, за генерирането на които са използвани гредови (Frame), равнинни (Shell) и обемни (Solid) крайни елементи. В допълнение резултатите, получени от изчислителните модели се сравняват с тези, изчислени с помощта на известни от литературата по Съпротивление на материалите зависимости. Потърсени са коректури, отразяващи тези влияния, като са предложени промени в съществуващата методика.

АНАЛИЗ НА ЕДНОСЛОЙНИ ДИСКРЕТНИ СФЕРИЧНИ КУПОЛИ, ПОДЛОЖЕНИ НА СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ. УПРАВЛЕНИЕ НА ДИНАМИЧНОТО РЕАГИРАНЕ

Анита Хандрулева, Владимир Матуски, Константин Казаков, Банко Банков

В тази статия е изследвано динамичното реагиране на еднослойни дискретни сферични куполи. Като обекти на изследване са разгледани изчислителни модели, различаващи се по вида на граничните опорни условия, морфологията на структурната решетка и височината. Динамичният анализ е проведен на два етапа: модален и спектрален анализи. При модалния анализ е съблюдаван коефициентът на ефективна модална маса и вида на собствените форми на трептене. Направено е сравнение между различни методи за комбиниране на модалните приноси (CQC и SRSS) и между методи за комбиниране по направление на въздействието (SRSS и правилото на 30-те процента). Целта на проведеното изследване е да се управлява динамичното реагиране на еднослойни сферични куполи.

ЗАГУБА НА УСТОЙЧИВОСТ И МЕХАНИЗМИ НА РАЗРУШЕНИЕ НА ЕДНОСЛОЙНИ ДИСКРЕТНИ СФЕРИЧНИ КУПОЛИ. УПРАВЛЕНИЕ НА ПОВЕДЕНИЕТО ЧРЕЗ НАМИРАНЕ НА НОВИ РАВНОВЕСНИ ФОРМИ

Анита Хандрулева, Банко Банков, Константин Казаков, Владимир Матуски

Резюме: Изследването на устойчивото поведение на прътовите куполи е неизменна част от тяхното проектиране, изчисляване и оразмеряване. Основните фактори, влияещи върху стабилитетното поведение са: морфология на структурната решетка, геометрични и материални

характеристики на конструктивните елементи и вид на възловите съединения. На тази база е избран и обект за изследване. Численото решение е проведено с програмен продукт, базиран на Метода на крайните елементи. За определяне на критичната стойност на параметъра на натоварване е използвано стъпково нарастване на товара с последователни приближения, до намиране на гранично равновесно състояние на системата. Изследването е проведено в условията на геометрична нелинейност, отчетена с Р-Δ ефекта.

ON THE DYNAMIC RESPONSE OF DISCRETE SINGLE-LAYER SPHERICAL DOMES

A. Handruleva, V. Matuski, K. Kazakov

Abstract: Dynamic parameters as natural frequencies and modes of vibration are important indicators for the dynamic response of structures due to seismic excitations. These parameters are a basis the amplitude values of displacements and internal forces to be calculated. The modal analysis can be treated as a preliminary step for further dynamic studies, such as: spectral analysis, harmonic or periodic analysis and analysis due to arbitrarily loads (time history analysis).

COMBINED MECHANISMS OF DESTRUCTION FOR THE DISCRETE SINGLE-LAYER SPHERICAL DOMES - LOSS OF STRENGTH AND STABILITY. BEHAVIOR MANAGEMENT BY FINDING NEW FORMS OF EQUILIBRIUM.

Anita Handruleva, Vladimir Matuski, Konstantin Kazakov, Banko Bankov

Abstract: The study of sustainable behavior of discrete domes is inseparable part of their analysis and design. Ensuring their stability and reliability leads to conducting numerous studies and the experiments by scientists all over the world. The reason is the large number of cases of damaged discrete domes due to loss of stability of the load considerably less than the critical for the system. The main factors influencing sustainable behavior are: morphology of the grid configuration, geometry and material characteristics of structural elements, type of joint connections and the type of supporting. On this basis, representative of discrete spherical dome for structural analysis is selected. The numerical solution is performed with software based on the Finite Element Method and investigated several cases of local loads, consistent with the built surfaces of influence. To determine the critical value of the parameter of loading have been used step-load increase with successive approximations to find the boundary equilibrium of the system. When an element reaches limit bearing capacity is assumed that he comes from work and in the next stage of computing its contribution is not counted. The study was conducted in terms of geometric nonlinearity reported with P- Δ effect, i.e. influence of normal forces on the stiffness of the system, assuming that the displacements increased after exclusion of elements of work. The conditions of equilibrium are written as is used deformed position of the structure. Results are presented in graphical and tabular form.

ANALYSIS OF SPACE TRUSSES SUBJECT TO SEISMIC EFFECTS. MANAGEMENT OF DYNAMIC RESPONSE

A. K. Handruleva, V .D.Maruski, K. S. Kazakov, B. P. Bankov

Abstract: Dynamic parameters as natural frequencies and modes of vibration are important indicators for the dynamic response of structures due to seismic excitations. These parameters are a basis the amplitude values of displacements and internal forces to be calculated. The modal analysis can be treated as a preliminary step for further dynamic studies, such as: spectral analysis, harmonic or periodic analysis and analysis due to arbitrarily loads (time history analysis). In this paper the dynamic responses of space trusses are studied. As objects of study are selected four representatives. An orthogonal structure of the grid on the upper and lower surfaces is accepted. The models differ in the type of supporting. The analysis was conducted in two stages: modal and spectral analysis. In the modal analysis is observed coefficient of effective modal mass and type of natural forms of vibration. The seismic action is defined by three independent components (two horizontal and one vertical) with 100% response spectrum. The purpose of the study is to manage the dynamic response of the d space trusses.

LOSS OF STABILITY AND MECHANISMS OF DESTRUCTION FOR SPATIAL STRUCTURES. BEHAVIOR MANAGEMENT BY FINDING NEW FORMS OF EQUILIBRIUM.

Anita Handruleva

Abstract: The study of sustainable behavior of structural constructions is inseparable part of their analysis and design. Ensuring their stability and reliability leads to conducting numerous studies and the experiments by

scientists all over the world. The reason is the large number of cases of damaged structural constructions due to loss of stability of the load considerably less than the critical for the system. The main factors influencing sustainable behavior are: morphology of the grid configuration, geometry and material characteristics of structural elements, type of joint connections and the type of supporting. On this basis, four representatives of multilayer structures for structural analysis are selected. An orthogonal structure of the grid on the upper and lower surfaces is accepted. The models differ in the type of supports and are labeled with: C.1 - structural construction, supported on four columns with reinforced zones (spatial trusses), and four console issue; C.2 - structural construction supported again on four columns with reinforced zones, but in the form of diagonals and four console issue; C.3 - structural construction supported along the contour of the bottom surface; C.4 - structural construction supported along the contour of the upper plane. The numerical solution is performed with software based on the Finite Element Method, as are various cases of loading (local, symmetric and asymmetric), consistent with the built influence surfaces. To determine the critical value of the load parameter is used step-load increase with successive approximations to find the boundary equilibrium of the system. When an element reaches limit bearing capacity is assumed that he comes from work and in the next stage of computing its contribution is not counted. The study was conducted in terms of geometric nonlinearity reported with $P-\Delta$ effect, i.e. influence of normal forces on the stiffness of the system, assuming that the displacements increased after exclusion of elements of work. The conditions of equilibrium are written as is used deformed position of the structure. Results are presented in graphical and tabular form.

COMBINED MECHANISMS OF COLLAPSE OF DISCRETE SINGLE-LAYER SPHERICAL DOMES

Anita Handruleva, Vladimir Matuski, Konstantin Kazakov

Abstract: This paper presents investigation of combined mechanisms of collapse of discrete single-layer domes. Main factors influencing sustainable behavior are: morphology of the grid configuration, geometry and material characteristics of the structural elements, type of joints and the supporting conditions. On this basis, representative configuration of discrete spherical dome for structural analysis is selected. The numerical solution is performed with software based on the Finite Element Method. Several load cases are considered. These are consistent with the surfaces of influence that have been determined. In order to define the critical value of the load parameter, the loading is increased incrementally and iterative procedure is used in a given load step in order to exclude the structural elements which have reached their limit capacity. Thus the boundary equilibrium of the system is defined. The study considers geometric nonlinearities by accounting for P- Δ effects, i.e. the influence of normal forces on the stiffness of the system. It is assumed that the displacements increase after exclusion of the elements which have reached their limit capacity. The equilibrium conditions are defined for the deformed shape of the structure. Results are presented in graphical and tabular form.

ВЪРХУ ПРИНОСА НА ЪГЛОВАТА ДЕФОРМАТИВНОСТ И ДЕПЛАНАЦИЯТА НА НАПРЕЧНОТО СЕЧЕНИЕ КЪМ ПРЕМЕСТВАНИЯТА НА ТОЧКИТЕ ОТ ГРЕДОВИ ЕЛЕМЕНТ

Владимир Матуски, Анита Хандрулева, Константин Казаков

Резюме: В тази статия е изследвано деформираното състояние на гредови елемент със статическа схема проста греда, при който се взима под внимание както напречната деформативност така и депланацията на сечението. Натоварването е във вид на равномерно разпределен товар или концентрирана сила, приложена в средата на гредата. Основна цел на това изследване е да се предложи лесна за приложение методика за отчитане на срязването и депланацията на напречното сечение на гредови елементи с правоъгълно напречно сечение върху максималното им напречно преместване. Тази цел е постигната посредством съпоставка и анализ на резултатите от три модела, за генерирането на които са използвани равнинни (shell) и обемни (solid) крайни елементи (KE). Изчислителните модели се различават по височина на напречното сечение. Изследването е проведено с програмен продукт, базиран на Метод на крайните елементи. Основният показател за съпоставка е вертикалното (т.е. напречно) преместване в средата на отвора на гредовия елемент. В допълнение резултатите, получени от изчислителните модели се сравняват с тези, изчислени с помощта на известни от литературата по Съпротивление на материалите зависимости. Поетапно е отчетено влиянието на напречната деформативност и на депланацията на напречното сечение върху стойността на вертикалното преместване в гредовия елемент. Потърсени са коректурни коефициенти и функции, отразяващи тези влияния, като са предложени корекции в съществуващата методика. Резултатите са представени в графичен и табличен вид.

ПОВЪРХНИНИ НА ВЛИЯНИЕ НА ДИСКРЕТНИ СФЕРИЧНИ КУПОЛИ

Анита Хандрулева, Банко Банков, Константин Казаков, Владимир Матуски

Резюме: Повърхнина на влияние (ПВ) за усилие (опорна реакция, прътово усилие, огъващ момент, напречно или нормално усилие), наричаме тримерната графика, която отразява изменението на тази величина, като функция от положението на подвижна съсредоточена сила с единична големина и постоянно направление, обхождаща "пътна" повърхнина.

При плоски пространствени прътови системи тя е съвкупност от линии на влияние, построени за отделни взаимно ортогонални сечения през равни интервали върху площта на изследвания обект. При прътовите куполи обаче възникват редица затруднения, защото разстоянието между сеченията намалява по височина на меридиана, а геометричната област, върху която се строи ПВ е с двойна кривина и трябва да се намери "четлива" форма за изобразяването ѝ. Въпросът е по какъв начин да си изобрази ПВ – дали като проекция върху хоризонтална равнина, която илюстрира недостатъчно четливо изменението на ПВ в зоните около опорният пръстен или в картографска проекция - чрез разгъване на сферичната повърхност върху вертикална равнина. В този случай разстоянията между меридианите близо до върха са силно преувеличени и деформират повърхността. Трета възможност е аксонометричното изобразяване на купола в избран поглед, като ординатите на повърхнината се нанасят вертикални. Тази възможност е възприета за по-нататъшно представяне. Пресмятането на ординатите на тази графика за пространствени системи по ръчен способ е почти невъзможно, поради високата им статическа неопределимост по метода на преместванията и метода на силите. С използването на съвременни софтуерни програми

по МКЕ (SAP2000, ANSYS и др.), изчисляването на ординатите на повърхнината на влияние за определено усилие обаче вече е улеснено максимално. Както е известно от строителната статика, съществуват три метода за построяване на линии на влияние, които могат да се приложат и за построяване на повърхнините на влияние: статичен, кинематичен и комбиниран метод.

При статичният метод се проследява изменението на разглежданата величина по стойност и знак при промяна на местоположението на подвижна единична сила в дефинирани пътни участъци. За всяко положение на тази сила се записва уравнението за равновесие и се пресмята търсената реакция, усилие и т.н.

Кинематичният метод е основан на принципа на възможните премествания, при които се записват уравненията за работата на силите, действащи върху системата предварително превърната в механизъм чрез отстраняване връзката, носеща усилието.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КРИТИЧНИ ТОВАРНИ ЗОНИ В ДИСКРЕТНИ СФЕРИЧНИ КУПОЛИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ПОВЪРХНИНИ НА ВЛИЯНИЕ

Анита Хандрулева, Банко Банков, Константин Казаков, Владимир Матуски

Резюме: В тази статия са изследвани повърхнините на влияние за дискретни сферични куполи. Като обекти на изследване са разгледани пет представители на дискретни куполи, за генерирането на които са използвани frame крайни елементи. Изчислителните модели се различават по морфологията на структурната решетка. Избрани са пръти в меридианно и паралелно направление, както и диагонали, за които са построени повърхнините на влияние от вертикален към сферичната

повърхност товар. Изследването и графичното изобразяване е проведено с програмен продукт, базиран на Метод на крайните елементи, по статичен и кинематичен начин. За оценка на повърхнините на влияние за усилия в елементите от различните изчислителни модели са въведени следните оценъчно-количествени показатели: абсолютна плътност; натискова плътност; опънна плътност. Въз основа на тези показатели са определени следните коефициенти на участие: коефициент на натискова активизация; коефициент на опънна активизация. Резултатите са представени в графичен и табличен вид.

ON THE DYNAMIC RESPONSE OF DISCRETE SINGLE-LAYER SPHERICAL DOMES

A. K. Handruleva, V. D. Matuski & K. S. Kazakov

Abstract: The spatial lattice-dome structures are mainly used to cover public, cultural and sports halls with large diameters of the base. Domes belong to a class of coverings that are characterized by a remarkable appearance and relatively less self weight compared to alternative structural systems. Depending on the support distance, they can be single-layer (with a grid structure) and dual-layer (two structural grids in two rotational surfaces with different radii). There are many domes with different lattice configurations. The study and analysis of spatial structures is a complex iterative process dependent on many parameters and factors that have to be taken into account.

The presence of many software programs for three-dimensional (spatial) static and dynamic analysis of structures is an advantage for fast and accurate modeling and calculation, and for a further study. Most of the software systems have options for more detailed analysis of stresses and strains of the systems, for linear solution and non-linear analysis in terms of

geometrical and material non-linearity of the elements of the structure. Some factors are important for the behaviour of lattice-domes. They are described by Giongu and can be classified as: geometrical factors (the basic shape of the dome (shell) - usually the choice of form is not based on structural, but rather than architectural considerations); density of the grid (a key parameter is the radius of the base, height and type of the adopted grid) and geometrical and material non-linearity. Suzuki has studied the behaviour of a single-layer reticulated dome with rigid joints between the elements. Numerical analysis is conducted by the FEM taking into account the elasto-plastic behaviour and geometrical non-linearity. Dubina concerns the problem of large non-linear behaviour of single-layer lattice shell. The author emphasizes on the significantly reduced stiffness and extreme sensitivity of unstable behaviour outside the plane of the dome.

„КОМБИНИРАНИ“ МЕХАНИЗМИ НА РАЗРУШЕНИЕ НА ЕДНОСЛОЙНИ ДИСКРЕТНИ СФЕРИЧНИ КУПОЛИ

Анита Хандрулева, Владимир Матуски, Константин Казаков, Банко Банков

Изследването на устойчивото поведение на прътовите куполи е неизменна част от тяхното проектиране, изчисляване и оразмеряване. Основните фактори, влияещи върху стабилитетното поведение са: морфология на структурната решетка, геометрични и материални характеристики на конструктивните елементи и вид на възловите съединения. Численото решение в тази статия е проведено с програмен продукт, базиран на Метода на крайните елементи. За определяне на критичната стойност на параметъра на натоварване е използвано стъпково нарастване на товара с последователни приближения.

Изследването е проведено в условията на геометрична нелинейност, отчетена с Р-Δ ефекта.

ВЛИЯНИЕ НА ДИСКРЕТИЗАЦИОННАТА МРЕЖА ВЪРХУ ТОЧНОСТТА НА ОГЪВЕН ЧЕТИРИЪГЪЛЕН КРАЕН ЕЛЕМЕНТ

Анита Хандрулева, Владимир Матуски Константин Казаков, Ана Янакиева

Резюме: Като обекти за изследване на тънки плочи са разгледани двадесет и два представители. За избраните модели са приети следните фиксирани параметри: размери на плочата в направление x и y съответно по 2m; дебелина на плочата 0,1m; равномерно разпределено натоварване с интензивност $q=10 \text{ kN/m}^2$. Варира се с: вида на дискретизационната мрежа и вида на граничните условия по контура (тип I и тип II). Моделите от тип I са запънати по контура си, а тези от тип II са със свободно подпирание. Видът на дискретизационната мрежа се променя чрез промяна на местоположението на точка B по отсечката между точка A и точка 2. Стъпката е 0,1m. Очевидно е, че за изчислителен модел PL.1 точка A и точка B съвпадат, а за изчислителен модел PL.11 точка B съвпада с точка 2.

ИЗБОР НА ЕФЕКТИВНА КУПОЛНА РЕШЕТКА. ОПТИМИЗАЦИЯ НА ТЕГЛОТО НА ПРЪТОВИ КУПОЛИ ЧРЕЗ ПАРАМЕТЪР ЗА "ЛИНЕЙНА НАПРЕГНАТОСТ"

Анита Хандрулева, Владимир Матуски , Банко Банков, Константин Казаков

Резюме: В тази статия е изследвано реагирането на еднослойни дискретни сферични куполи. Като обекти на изследване са разгледани

седемдесет модела на куполи. Изчислителните модели се различават по вида на граничните опорни условия, структурната решетка и височината (във функция на централния полуъгъл и радиуса на сферичната повърхност). Избраните представители на дискретни сферични куполи са групирани в два типа изчислителни модели (според вида на граничните опорни условия), а всеки тип съдържа съответно по пет варианта (според морфологията на структурната решетка). От своя страна всеки вариант има по седем представителя (в зависимост от височината). Изследването на дискретните сферични куполи е проведено чрез програмен продукт, базиран на Метод на крайните елементи. След проведеното статическо изчисляване, численото сравнение е направено по следните признаци: изменение на нормалните усилия в прътите от решетката; местоположение на неутралната линия, разделяща натискови и опънни усилия в пръстените на куполите; вертикално преместване на характерни възли. В тази статия е въведен нов параметър, който е наречен "линейна напрегнатост". Чрез него се оптимизират теглата на сферични прътови куполи с различни типове решетка при еднакъв основен диаметър и различни централни полуъгли, съответни на опорния паралел на купола. Ефектът при използване на параметъра "линейна напрегнатост" е че не е необходимо да се извършва реално статическо изчисляване и оразмеряване на прътите от куполната решетка.

DYNAMIC ANALYSIS OF DOME STRUCTURES BASED ON THREE METHODS OF DIRECTIONAL COMBINATION OF THE EFFECTS OF THE SEISMIC ACTION

Anita Handruleva, Vladimir Matuski, Iliana Stoinova, Konstantin Kazakov

Abstract: In the paper three methods of dierectional combination of the seizmic effects are compared from theoretical point of view. These methods are given in Eurocode 8. The results, obtained by the SRSS method are juxtaposed with the 30 percent method for a model of a dome structure. The CQC is adopted in such a way that the results, obtained by the method to be more safety and conservative than the other two methods.

ANALYSIS OF DISCRETE SINGLE-LAYER SPHERICAL DOMES, SUBJECTED TO SEISMIC ACTION. MANAGEMENT OF THE DYNAMIC BEHAVIOR

Anita Handruleva, Vladimir Matuski, Iliana Stoinova, Konstantin Kazakov

Abstract: In this paper the dynamic responses of discrete single-layer spherical domes are studied. As objects of the study computation models of domes are analyzed. These models differ in the type of boundary conditions, grid configuration and height of the domes. The analysis was conducted in two stages: modal and spectral analysis. In the modal analysis is observed coefficient of effective modal mass and type of natural forms of vibration. Comparison is made between different methods for combining modal contributions (CQC and SRSS) and between methods of combining in the direction of seismic effects: SRSS method and „The rule of 30%“. The

purpose of the study is to manage the dynamic response of the discrete single-layer spherical domes.

DETERMINATION OF THE CRITICAL LOADING AREAS ON THE DISCRETE SPHERICAL DOMES USING INFLUENCE SURFACES

Anita Handruleva

Abstract: In this article are studied the influence surfaces of discrete spherical domes. As objects of study are discussed five models of discrete domes to generate are used frame finite elements. Computational models differ in the type of grid configuration. Selected frames are in the meridian, parallel and diagonal directions, for which are built influence surface of vertical load to the spherical surface. Research and graphical representation was performed with software based on the Finite Element Method with static and kinematic methods. For comparison, the influence surfaces introduced the following parameters: absolute density, compressive density and tensile density. Based on these parameters are determined following participation factors: coefficient of compressive activation and coefficient of tensile activation. Results are presented in graphical and tabular form.

LOSS OF STABILITY AND MECHANISMS OF DESTRUCTION FOR SPATIAL STRUCTURES

Vladimir Matuski, Anita Handruleva, Konstantin Kazakov

Abstract: The study of sustainable behavior of structural constructions is inseparable part of their analysis and design. Ensuring their stability and reliability leads to conducting numerous studies and the experiments by scientists all over the world. The reason is the large number of cases of damaged structural constructions due to loss of stability of the load

considerably less than the critical for the system. The main factors influencing sustainable behavior are: morphology of the grid configuration, geometry and material characteristics of structural elements, type of joint connections and the type of supporting.

In [4] and [5], Malla, Serrete have made a detailed overview of the status and trends for static and dynamic analysis of double layer structural systems. They pay particular attention to factors and phenomena that influence sustainable behavior as an individual element and the whole structure:

- in terms of the elements: Non-axial loading, neatness, geometric tolerances, stiffness of the joint connections, the influence of redistribution of efforts by one or more defective rods (lost its bearing capacity), then critical behavior;
- in terms of the whole structure: type and density of the grid structure, geometric tolerances and physical nonlinearity, susceptibility supports, local damage or loss of bars and rods, behavior of joint connections, method of supporting, presence of hard floor or cover disk;
- in terms of the load: symmetrical or asymmetrical static, dynamic loading of suspended moving loads, fans and other vibrating machinery, earthquake and wind effects, temperature changes.

On the basis of analysis of the state of the problem, can be said that the study of spatial truss is a major challenge for civil engineers, for both practical and for research work. Considerable interest has been shown by scientists and researchers all over the world in this area, as evidenced by the large number of publications and articles in scientific journals: Journal of Space Structures, Proceedings of IASS, Journal of Structural Engineering, and others.

COMBINED MECHANISMS OF DESTRUCTION FOR THE DISCRETE SINGLE-LAYER SPHERICAL DOMES

Anita Handruleva, Vladimir Matuski, Konstantin Kazakov

Abstract: The study of sustainable behavior of discrete domes is inseparable part of their analysis and design. Ensuring their stability and reliability leads to conducting numerous studies and the experiments by scientists all over the world. The reason is the large number of cases of damaged domes due to loss of stability of the load considerably less than the critical for the system. The main factors influencing sustainable behavior are: morphology of the grid configuration, geometry and material characteristics of structural elements, type of joint connections and the type of supporting.

In [8] and [9] Gioncu describes in detail the status of problems in the study of sustainable behavior of single layer lattice domes. Some important studies in this area are made of Sumec [10]. The massive use of discrete computational models for the calculation of plane and space structures is closely related to the rapid development to effective software programs. Gioncu identified four main factors that have particular importance on the sustainable behavior:

- form of the grid configuration;
- structural composition of grid configuration: triangular or quadrangular;
- geometrical and physical characteristics of the individual structural element;
- category of the node: welded, bolted or special mechanical joint.

The main task in the study for the sustainability of lattice domes is to determine the critical load parameter, whose decision to use the three theories of equilibrium states discussed in [1]:

1) theory of the first order: equations for stability studies are recorded on unwrought scheme of the system (homogeneous system).

2) theory of the second order: equations for stability studies are recorded on a delta system, but the displacements are small compared to the size of the system.

3) theory third order: equations for stability studies are recorded on the real delta system at any size of the displacements.

In theory first order loss of resistance is accompanied by a bifurcation of the equilibrium shapes and the corresponding critical load in the foreign literature is known as "bifurcation". The theory of the second and third order the critical load is determined by the limit point where the stiffness of the system is exhausted, ie zero. If it is possible to trace the precritical behavior, but only the theory of the third order gives an idea of the following critical behavior of the system.

УПРАВЛЕНИЕ НА ДИНАМИЧНОТО РЕАГИРАНЕ НА ЕДНОСЛОЙНИ ДИСКРЕТНИ СФЕРИЧНИ КУПОЛИ, ПОДЛОЖЕНИ НА СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ.

Анита Хандрулева

Резюме: Сеизмичният анализ на конструкцията включва модален и спектрален анализи. На ниво модален анализ се получават динамични характеристики като собствените форми на трептене на конструкцията и кореспондиращите им периоди и естествени честоти. Тези характеристики са необходими и за проследяване на реагирането на конструкцията от приложени други динамични товари и при изчисляване на амплитудните стойности на преместванията и разрезните усилия, било във вид на спектрален анализ, анализ от хармоничен товар или анализ чрез приети акселограми на въздействието (Time History Analysis). На

този етап се контролира коефициентът на ефективна модална маса, показател за достатъчност на приетия брой форми на трептене в анализа. Ако проверката за достатъчност на отчетените собствени форми на трептене не е удовлетворена, може да се увеличи броят на формите или да се направи т.нар. статична корекция. Тя се основава на допълнителни статични сили, съответстващи на съотношението между „неотчетената“ (липсваща) и общата маса. Използването на статичната корекция не гарантира 100% участие на масите като модална изчислителна характеристика, но все пак дава по-достоверни резултати за динамичното реагиране. Липсващата маса може да се разбира като сбор от масите, при чието активиране се пораждат неотчетените форми. Модалният спектрален анализ завършва с избор на адекватна методика за комбиниране по форми на трептене. Ако проверката за достатъчност на отчетените собствени форми на трептене не е удовлетворена, може да се увеличи броят на формите или да се направи т.нар. статична корекция. Тя се основава на допълнителни статични сили, съответстващи на съотношението между „неотчетената“ (липсваща) и общата маса. Използването на статичната корекция не гарантира 100% участие на масите като модална изчислителна характеристика, но все пак дава по-достоверни резултати за динамичното реагиране. Липсващата маса може да се разбира като сбор от масите, при чието активиране се пораждат неотчетените форми.

Модалният спектрален анализ завършва с избор на адекватна методика за комбиниране по форми на трептене.

ВЪРХУ ОПТИМИЗАЦИЯТА НА ТЕГЛОТО НА ПРЪТОВИ КУПОЛИ ЧРЕЗ ПАРАМЕТЪР ЗА "ЛИНЕЙНА НАПРЕГНАТОСТ". ИЗБОР НА ЕФЕКТИВНА КУПОЛНА РЕШЕТКА

Анита Хандрулева

Резюме: За изясняване на напрегнатото и деформирано състояние на куполите, вписани в сферичен сегмент с различна структурна композиция, се използват начално приетите параметри за куполите (R , β , n) при два вида гранични опорни условия и фиксирано външно натоварване q .

Проведено е параметрично изследване чрез серия числени опити върху показаните на Фиг.1 прътови куполи с постоянен радиус на основата $r_0=15,0m$ и нарастваща височина, отговаряща на централен полуъгъл α , изменящ се в интервала от 30° до 90° със стъпка 10° .

След проведеното статическо изчисляване, численото сравнение е направено по следните признаци: изменение на нормалните усилия в прътите от решетката; местоположение на неутралната линия, разделяща натискови и опънни усилия в пръстените на куполите; вертикално преместване на характерни възли. В тази статия е въведен нов параметър, който е наречен "линейна напрегнатост". Чрез него се оптимизират теглата на сферични прътови куполи с различни типове решетка при еднакъв основен диаметър и различни централни полуъгли, съответни на опорния паралел на купола. Ефектът при използване на параметъра "линейна напрегнатост" е че не е необходимо да се извършва реално статическо изчисляване и оразмеряване на прътите от куполната решетка.