Резюмета на научни публикации за участие в конкурс за академичната длъжност „доцент“ по професионално направление 4.5. „Математика“, спец. 01.01.13. „Математическо моделиране и приложение на математиката (Приложения в динамика на конструкциите) за секция „Научни пресмятания“

гл. ас. д-р Станислав Стойков

Научната ми дейност е в областта на математическото моделиране, приложната механика и компютърните науки. За участие в конкурса за академичната длъжност „доцент“ прилагам списък от 22 научни публикации. От тях 13 са в списания с импакт фактор, от останалите публикации, 4 са в издания с SJR ранк и 5 са в международни конферентни сборници.

Публикациите са разделени на три тематики: **Нелинейна динамика на еластични конструкции**, където са представени основните методи, с които се изследват нелинейни динамични системи в параметричната област. Дадени са примери за трептене на греди, плочи и черупки в нелинеен режим, показани са точки на бифуркация, вторични клонове и загуба на устойчивост на решението в честотно-амплитудната област.

Втората тематика е **Математическо моделиране на гредови конструкции**, където съм представил публикации, в които съм извел уравнението на движение на различни видове греди. Разгледал съм греди със сложни профили, както и греди с променлива дебелина и начално усукване; греди съставени от композитни материали; греди въртящи се около фиксирана ос; модели на греди с повредена конструкция; модели на греди с електро-механични взаимодействия.

Третата тематика е **Числени методи и паралелни алгоритми за динамичен анализ на нелинейни системи с голяма размерност**, където подробно е представена паралелна реализация на метода на престрелката, използван за намиране на периодични решения. Скалируемостта и паралелната ефективност на метода са изследвани на високопроизводителни компютърни архитектури. Методът на престрелката е приложен върху динамични системи, които са изведени след приложение на метода на крайните елементи върху уравнението на движение на греди и плочи, както и върху динамични системи, получени след дискретизация на еластичната задача чрез тримерни крайни елементи.

Публикациите са разгледани подробно в следващите параграфи.

I. Нелинейна динамика на еластични конструкции

В първите три публикации [1-3] са изследвани нелинейните динамични свойства на греди, трептящи в тримерното пространство. В [1] са изследвани нелинейните нормални моди на греда (nonlinear normal modes). Уравнението на движение е изведено чрез принципа на виртуалната работа. Преместванията на гредата са изразени чрез преместванията на средната линия като за тази цел са използвани хипотезата на Тимошенко за огъване и хипотезата на Сен Венан за усукване. В модела е включена геометрична нелинейност, т.е. използвани са нелинейни връзки между деформациите и преместванията. Уравнението е дискретизирано чрез метода на Риц, като е използван йерархичен базис от полиноми и е получена нелинейна система от обикновени диференциални уравнения (ОДУ). Тъй като от интерес са нелинейните нормални моди, т.е. периодични решения на системата от ОДУ, решението е изразено в ред на Фурие. Приложен е методът за баланс на хармоничните функции (harmonic balance method) и е получена нелинейна алгебрична система. Като параметър в тази система е разгледана честотата на трептене. Чрез метода на продължението е изследвано как решението на нелинейната система се променя с честотата на трептене. Намерени са точки на бифуркация и са проследени съответните вторични клонове решения, при които решението значително изменя поведението и формата си. Показано е, че част от вторичните клонове, които са следствие на точките на бифуркация, запазват трептенето на гредата в една равнина (равнината на главния клон от решения), а друга част води до трептене на гредата в тримерното пространство, което е следствие от взаимодействие на модите на трептене в различните направления.

В статия [2] е продължено изследването на динамичните свойства на гредата, но при наличие на външни хармонични сили. Намерени са нелинейните честотно-амплитудни функции (nonlinear frequency-response function) и е изследвана устойчивостта на решението. Устойчивостта на решението е определена чрез добавяне на малко смущение към вече намереното решение и е изследвана промяната на смущението във времето. Ако смущението клони към нула с времето, то решението е устойчиво, иначе решението е неустойчиво. Изследвана е греда с квадратен профил, т.е. при такава греда естествените честоти на огъване в двете основни направления са еднакви. Върху гредата е приложена хармонична сила само в едно направление и е изследвано как се променя решението с промяна на честотата на външната сила. Намерена е точка на бифуркация за стойност на честотата на външната сила, близка до тази на фундаменталната честота на гредата, която е една и съща за модите в двете направления (понеже сечението е квадратно). Точката на бифуркация е резултат от 1:1 вътрешен резонанс на двата мода и е известна в литературата като точка на бифуркация нарушаваща симетрията (symmetry-breaking bifurcation point). Вследствие на бифуркацията решението губи устойчивост и възникват два вторични устойчиви клона от решения, които представляват трептене на гредата в тримерното пространство. Интересното в случая е, че въпреки че външните сили остават в едно направление и гредата е със симетрично сечение, трептенето на гредата е в тримерното пространство.

Статия [3] е продължение на статии [1, 2], където са изследвани динамичните свойства на греда с несиметрично сечение. При такива греди има взаимодействие между отделните премествания още при линейното уравнение на движение. Взаимодействието идва от ненулеви коефициенти поради несиметричния профил на гредата. Функцията на депланация е изчислена чрез метода на граничните елементи. Изследвани са свободни и принудени трептения на греда с L-образно сечение. Показано е, че въпреки че сечението е несиметрично, съществуват периодични трептения, които да се в една равнина, но също така вследствие на точка на бифуркация, трептенето може да премине в друга равнина или в тримерното пространство.

Статия [4] изследва свободни трептения на кръгли плочи. Уравнението на движение е изведено в цилиндрична координатна система, като за преместванията е използвана хипотезата на Кирхоф. Нелинейни зависимости на фон Карман са включени в модела. Изследвана е сходимостта на решението с броя на функциите на формата за линейната и нелинейната задача. Изследвани са първите два нелинейни мода със съответните точки на бифуркация и вторични клонове. Показано е, че вследствие на точка на бифуркация, съществува взаимодействие между моди със симетрична форма спрямо централната ос и моди с несиметрична форма.

Статии [5, 6] изследват принудени трептения на цилиндрични черупки с променлива коравина. В композитните слоеве, нишките са криволинейни, т.е. те са огънати под даден ъгъл. Така се променя отношението между напрежения и деформации за различни точки от черупката, от където идва и името променлива коравина. Промяната на ъгъла на огъване на нишките може значително да промени динамичното поведение на конструкцията, без да се променя материала или формата й, което дава нови възможности за проектиране сред инженерите. При сложни конструкции, като черупки с променлива коравина, често в стационарния режим на нелинейното уравнение има хармонични функции от висок ред. Затова е важно при прилагане на метода за баланс на хармоничните функции, тези функции да са включени в реда на Фурие. В статия [5] е разработен алгоритъм, който използва ред на Фурие в комплексната област, което позволява броя на хармоничните функции да се дефинира като параметър и по този начин да се прилага метода за баланс на хармоничните функции с голям брой функции. В статия [6] е изследвана сходимостта на черупка с променлива коравина с броя на хармоничните функции. Също така са изследвани динамичните свойства на черупки с различни ъгли на огъване на нишките в композитните слоеве. Показани са честотно-амплитудните диаграми, фазовите портрети и формите на трептене за различните ъгли на огъване на нишките.

Статия [7] има обобщаващ характер. Описани са основните разлики между линейни и нелинейни динамични системи. Дефинирани са нелинейни нормални моди и нелинейни честотно-амплитудни функции. Обяснени са основните методи за анализиране на нелинейни динамични системи. Статията завършва с пример за свободни и принудени трептения на греда.

II. Математическо моделиране на гредови конструкции: тримерни модели; греди със сложни профили; композитни материали; въртящи се греди; електро-механични взаимодействия; задачи с прекъснатости на коефициентите

В статия [8] е изведено уравнението на движение на греда с правоъгълно сечение, като се отчитат преместванията на гредата в трите направления и усукване на гредата. Направен е подробен сравнителен анализ между различни модели на греди, като за тази цел резултатите са сравнявани с Ansys. Изведени са уравнения на движение на греди, базирани на хипотезите на Бернули-Ойлер и на Тимошенко за огъване. Показано е, че когато огъването си взаимодейства с усукване, често приложимата апроксимация при хипотезата на Бернули-Ойлер, т.е. че завъртанията на сечението могат да се апроксимират с производната на преместването, не е достатъчна и резултатите са значително различни. Показано е, че функцията на депланация е съществена за моделиране на усукване на греда. Дадени са примери за взаимодействие между различните премествания при нелинейната задача. В заключението е подчертан моделът, който най-добре апроксимира преместванията и усукването на гредата.

Статия [9] е продължение на [8], като в нея е представен модел на греда със сложно сечение (напречното сечение не е ограничено до правоъгълно или кръгло). Специално внимание е обърнато на изчислението на коефициентите, характеризиращи сечението на гредата. Създадена е програма за тази цел, която намира числено функцията на депланация и всички коефициенти на дадено сечение. Програмата е кръстена TOBECS (TOol for BEam Cross Sectional analysis) и е свободно достъпна за изчисления (http://parallel.bas.bg/~stoykov/tobecs). Показано е, че с численото намиране на функцията на депланация, моделът е подходящ както за отворени тънкостенни профили, така и за затворени. Моделът е приложим и за греди с променлива дебелина и височина, както и с начално усукване. За тази цел, коефициентите, характеризиращи сечението на гредата, са изразени като функции на надлъжната ос на гредата. Моделът е валидиран с еквивалентни тримерни конструкции, дискретизирани чрез тримерни крайни елементи. В заключението е изтъкнато, че сложни тънкостенни конструкции с променлива дебелина и начално усукване могат да бъдат моделирани с модели на греда.

Статии [10, 11] са свързани с модели на греди, съставени от композитни материали. Програмата, изчисляваща функцията на депланация, е надградена и пригодена за профили, съставени от различни материали, като са наложени допълнителни гранични условия между отделните композитни слоеве. В [10] са изследвани свободни и принудени трептения на греда, съставена от композитни материали, но с различни ориентации на отделните композити. В [11] моделът на греда е разширен, като отчита деформация на напречното сечение вследствие на огъване на композитните слоеве. За тази цел са включени зиг-заг функции, които са свързани с всеки композитен слой. Показано е, че при греди, съставени от композитни материали, чиито еластични коефициенти са съществено различни, пренебрегването на зиг-заг функциите води до грешни резултати.

Статии [12, 13] извеждат уравнението на движение на въртяща се греда. За тази цел са използвани две координатни системи: първата е фиксирана в пространството, а втората се върти около една от осите на първата. Уравнението на движение на гредата е изведено във въртящата се координатна система и по този начин е моделирано въртенето на гредата. Използвано е абсолютното ускорение на произволна точка от гредата, т.е. ускорението на тази точка спрямо фиксираната координатна система, но изразено чрез координатите на въртящата се координатна система. Този израз включва и силите на Кориолис. Изследвано е влиянието на скоростта на въртене на гредата върху динамичното ѝ поведение. Моделът не е ограничен за въртене с постоянна скорост. Показани са резултати на динамика на греда при различни ускорения на въртене, т.е. разгледани са сценарии за спиране на въртяща се греда и за завъртане на греда до достигане на определена скорост. Статия [13] разширява модела на гредата от [12] като отчита, че гредата е закрепена за твърдо тяло с даден радиус и ъгъл, който наклонява гредата спрямо равнината на въртене. Изследвано е влиянието на този ъгъл върху естествените честоти и динамиката на гредата.

В статия [14] е изведено уравнението на движение на греда с повреда, като пукнатина. Използвани са допълнителни функции на формата при дискретизация. Показано е, че при греди с пукнатина има взаимодействие между отвесните и надлъжните премествания при линейното уравнение, въпреки че сечението е симетрично. Изследвано е влиянието на големината на пукнатината върху динамиката на гредата във времевата област.

Статии [15, 16] използват изогеометричен анализ за дискретизация чрез Б-сплайни на уравнението на движение на греда. Характерно при изогеометричния анализ е, че високите честоти на трептене могат да бъдат приближени значително по-добре отколкото при дискретизация чрез крайни елементи. По-добрата апроксимация на по-големите честоти и на съответните моди на трептене дава по-добри резултати при нелинейния анализ на греди, където има взаимодействие между модите. Тези предимства са показани в [15]. В [16] са моделирани греди с прекъснатости чрез Б-сплайни. Прекъснатостите са представени като стопери, с които гредата има контакт, но също така прекъснатости има при греди, съставени от композитни слоеве с различна дължина или при греди с рязка промяна на еластичните коефициенти на материала. Използвани са Б-сплайни с повтарящи се възли, в точките на прекъснатостите. Изогеометричният модел с прекъснатости е сравнен с дискретизация с метода на Риц и с крайни елементи. За референтно решение е използван метода на Риц с полиноми от много висока степен. Направени са сравнения при различни еластични коефициенти на стоперите. Показано е, че моделът с Б-сплайни апроксимира изключително добре решението и неговите първи и втори производни, които представляват наклона на сечението и кривината на гредата.

В статия [17] е изведено уравнението на движение на греда с електро-механични взаимодействия, възникващи вследствие на пиезоелектричен ефект. Електро-механичното взаимодействие е моделирано като напреженията са изразени не само чрез деформациите, но и чрез електрически компоненти. Към свободния край на гредата е прикрепено твърдо тяло, а близо до гредата са разположени стопери. Целта на статията, е да се изследват случаите на твърдо тяло с различно тегло и на стопери, разположени на различно разстояние от гредата и да се определят тези, които генерират най-много електричество от трептенето на гредата.

III. Числени методи и паралелни алгоритми за динамичен анализ на нелинейни системи с голяма размерност

В статии [18, 19] е изведен методът на престрелката за намиране на периодично решение на система от нелинейни обикновени диференциални уравнения от втори ред. Изтъкнати са предимствата, когато метода на престрелката е приложен при системи от втори ред, вместо трансформирането им до система от първи ред и прилагането на метода върху получената система. Основните предимства са, че се използват по-малко изчисления и не е необходимо изчисляване на обратната матрица на масата. В [18] е изведена матрицата на монодроми (monodromy matrix) използвана за определяне на устойчивостта на решението. Методът е използван за намиране на периодични решения на еластични конструкции, дискретизирани чрез тримерни крайни елементи. Използван е софтуерният продукт Elmer, който е софтуер с крайни елементи с отворен код, за интегриране на метода на престрелката. Направена е валидация на разработената програма, като са сравнени честотно-амплитудните функции, получени чрез модел на греда и метода за баланс на хармониките от [2] с честотно-амплитудната функция на еквивалентна конструкция, дискретизирана чрез тримерни крайни елементи и метода на престрелката. Намерена е същата точка на бифуркация, която променя трептенето на конструкцията от трептене в една равнина към трептене в пространството. В статия [19] е изследвана скалируемостта на софтуерния продукт Elmer.

В статии [20, 21] е предложено паралелно изпълнение на метода на престрелката за нелинейни динамични системи от втори ред. Основните изчислителни операции в метода на престрелката, които са реализирани чрез паралелни изчисления, са умножение на матрица с матрица, решаване на множество независими линейни системи с разредени матрици и решаване на система с плътна матрица. Алгоритъмът е реализиран на HPCG клъстера в ИИКТ–БАН с разпределена памет и MPI. За изследване на скалируемостта и ефективността на алгоритъма е използвано уравнението на движение на греда, дискретизирано чрез метода на крайните елементи като са използвани елементи с малка дължина, за да бъде генерирана система с голям брой степени на свобода. Получена е ефективност около 90% за различните числени експерименти. В статия [21] е намерена честотно-амплитудната функция на мостова конструкция, дискретизирана чрез тримерни крайни елементи. За тази задача е използвано линейното уравнение на еластичността.

Понеже реализирането на сложни алгоритми, като метода на престрелката, в софтуер с отворен код има недостатъци и често провеждането на паралелни изчисления не води до оптимална ефективност, следващата стъпка от изследването на динамичните свойства на реални конструкции е създаване на код, който дефинира локалните матрици на маса и коравина и ги асемблира в глобална система. В статия [22] е изведено уравнението на движение на плоча, като се използва хипотезата на Кирхоф и в модела са включени геометрични нелинейности. Уравнението е дискретизирано чрез метода на крайните елементи. Използвани са правоъгълни крайни елементи с четири възела, всеки с четири степени на свобода. Линейните собствени честоти са сравнени с аналитични резултати за правоъгълни плочи, получена е грешка $O(h^4)$, която съответства на теоретичната оценка на грешката. Потенциалът на паралелната реализация на метода на престрелката и дискретизацията чрез крайни елементи са демонстрирани върху анализ на плоча със сложна форма.

Списък на научни публикации за участие в конкурса

1. **S. Stoykov**, P. Ribeiro, Nonlinear free vibrations of beams in space due to internal resonance, Journal of Sound and Vibration 330 (2011) 4574-4595 (**IF 2.223**).
2. **S. Stoykov**, P. Ribeiro, Stability of nonlinear periodic vibrations of 3D beams, Nonlinear Dynamics 66 (2011) 335-353 (**IF 2.849**).
3. **S. Stoykov**, P. Ribeiro, Non-linear vibrations of beams with non-symmetrical cross sections, International Journal of Non-Linear Mechanics 55 (2013) 153–169 (**IF 1.87**).
4. **S. Stoykov**, P. Ribeiro, Periodic geometrically nonlinear free vibrations of circular plates, Journal of Sound and Vibration 315 (2008) 536-555 (**IF 2.223**).
5. **S. Stoykov**, P. Ribeiro, Frequency response of cylindrical variable stiffness composite laminated shells, In: H. Ecker, A. Steindl, S. Jakubek (Eds.), Proceedings of 8th European Nonlinear Dynamics Conference (2014), ISBN: 978-3-200-03433-4, Paper Id: 363, 6 pages.
6. P. Ribeiro, **S. Stoykov**, Forced periodic vibrations of cylindrical shells in laminated composites with curvilinear fibres, Composite Structures 131 (2015) 462–478 (**IF 3.5**).
7. **S. Stoykov**, The influence of geometrical nonlinearity on the dynamics of elastic structures, Proceedings of the International Conference on Numerical Methods for Scientific Computations and Advanced Applications (2014), ISBN: 978-954-91700-7-8, pp. 103-106.
8. **S. Stoykov**, P. Ribeiro, Nonlinear forced vibrations and static deformations of 3D beams with rectangular cross section: The influence of warping, shear deformation and longitudinal displacements, International Journal of Mechanical Sciences 52 (2010) 1505-1521 (**IF 2.287**).
9. **S. Stoykov**, E. Manoach, S. Margenov, An efficient 3D numerical beam model based on cross sectional analysis and Ritz approximations, ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics (2015), DOI: 10.1002/zamm.201400139 (**IF 1.162**).
10. **S. Stoykov**, S. Margenov, Nonlinear Vibrations of 3D Laminated Composite Beams, Mathematical Problems in Engineering (2014), Article ID 892782, 14 pages (**IF 0.762**).

11. **S. Stoykov**, S. Margenov, Nonlinear free vibrations of 3D composite beams, In: Z. Dimitrovová, J. Almeida, R. Gonçalves (Eds.), Proceedings of the 11th International Conference on Vibration Problems (2013), ISBN: 978-989-96264-4-7, Paper Id: 164, 10 pages.
12. **S. Stoykov**, P. Ribeiro, Vibration analysis of rotating 3D beams by the *p*-version finite element method, Finite Elements in Analysis and Design 65 (2013) 76-88 (**IF 1.967**).
13. **S. Stoykov**, S. Margenov, Nonlinear vibrations of rotating 3D tapered beams with arbitrary cross sections, In: M. Papadrakakis, V. Papadopoulos, V. Plevris (Eds.), Proceedings of the 4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering (2013), ISBN: 978-960-99994-2-7, pp. 1883-1897.
14. V. Stojanović, P. Ribeiro, **S. Stoykov**, Non-linear vibration of Timoshenko damaged beams by a new *p*-version finite element method, Computers & Structures 120 (2013) 107-119 (**IF 2.528**).
15. **S. Stoykov**, C. Hofreither, S. Margenov, Isogeometric analysis for nonlinear dynamics of Timoshenko beams, In: I. Dimov, S. Fidanova, I. Lirkov (Eds.), Lecture Notes in Computer Science Vol. 8962, Springer (2015), ISBN: 978-3-319-15584-5, pp. 138-146 (**SJR 0.34**).
16. **S. Stoykov**, S. Harizanov, S. Margenov, Space discretization by B-Splines on discontinuous problems in structural mechanics, Proceedings of the 7th Balkan Conference on Informatics (2015), ISBN: 978-1-4503-3335-1, Paper Id: 31, 7 pages.
17. **S. Stoykov**, G. Litak, E. Manoach, Vibration energy harvesting by a Timoshenko beam model and piezoelectric transducer, The European Physical Journal Special Topics 224 (2015) 2755-2770 (**IF 1.399**).
18. **S. Stoykov**, S. Margenov, Numerical computation of periodic responses of nonlinear large-scale systems by shooting method, Computers & Mathematics with Applications 67 (2014) 2257-2267 (**IF 2.17**).
19. **S. Stoykov**, S. Margenov, Nonlinear forced vibration analysis of elastic structures by using parallel solvers for Large-Scale Systems, In: I. Lirkov, S. Margenov, J. Waśniewski (Eds.), Proceedings of 9th International Conference on Large-Scale Scientific Computations, Lecture Notes in Computer Science Vol. 8353, Springer (2014), ISBN: 978-3-662-43880-0, pp. 381-388 (**SJR 0.34**).
20. **S. Stoykov**, S. Margenov, Scalability of Shooting Method for Nonlinear Dynamical Systems, In: I. Lirkov, S. Margenov, J. Waśniewski (Eds.), Proceedings of 10th International Conference on Large-Scale Scientific Computations, Lecture Notes in Computer Science Vol. 9374, Springer (2015), ISBN: 978-3-319-26519-3, pp. 401-408 (**SJR 0.34**).
21. **S. Stoykov**, S. Margenov, Scalable parallel implementation of shooting method for large-scale dynamical systems. Application to bridge components, Journal of Computational and Applied Mathematics 293 (2016) 223-231 (**IF 1.365**).
22. **S. Stoykov**, S. Margenov, Finite Element Method for Nonlinear Vibration Analysis of Plates, In: S. Margenov, G. Angelova, G. Agre (Eds.), Innovative Approaches and Solutions in Advanced Intelligent Systems, Studies in Computational Intelligence Vol. 648, Springer (2016), ISBN 978-3-319-32207-0 (**SJR 0.24**), Accepted.