



Получени на
12.06.2019г.

9

АНОТАЦИИ НА ПРЕДСТАВЕНИТЕ ПУБЛИКАЦИИ

I. ЗАМЕСТВАЩИ МОНОГРАФИЯТА ПУБЛИКАЦИИ, РЕФЕРИРАНИ И ИНДЕКСИРАНИ В МБД с НИ „SCOPUS” – показател В4

Списък на публикациите

(последователността е съгласно датата на публикуване)

№	Заглавие
1.	J. Genov, B. Gilev, Y. Slavchev, and G. Venkov, Modelling and Control of Wind Turbine Tower Vibrations, 2010, American Institute of Physics Conf. Proc. / Vol. 1293
2.	J. Genov, Some aspects of the influence of the vertical wind speed gradient on the blade aerodynamics loads in high class wind generator, 2018, MATEC Web of Conferences / Vol. 234
3.	J. Genov, A synthesis of a blade pitch control for large wind turbines, taking into account the functional dependence of the torque generated in the blades from the azimuth, 2018, MATEC Web of Conferences / Vol. 234
4.	J. Genov and I. Kralov, BEM Theory Adaptation Taking into Account the Wind Speed Vertical Gradient for Wind Turbines of High Class Part 1 A Theoretical Formulation, 2018, American Institute of Physics Conf. Proc. / Vol. 2048
5.	J. Genov and I. Kralov, BEM Theory Adaptation Taking Into Account the Wind Speed Vertical Gradient for Wind Turbines of High Class Part 2 Numerical Analysis of the Aerodynamic Interaction, 2018, American Institute of Physics Conf. Proc. / Vol. 2048
6.	J. Genov, I. Kralov, I. Angelov BEM theory adaptation taking into account non-uniform, non-stationary wind field, 2019, Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol.20
7.	I. Kralov, J. Genov, I. Angelov, Modified BEM theory application for determining the aerodynamic forces acting on the blade of wind turbine, 2019, Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol.20
8.	J. Genov, I. Kralov, I. Angelov Dynamic stress analysis of a blade of wind turbine generator taking into account vertical wind speed gradient, 2019, Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol.20
9.	J. Genov, M. Todorov, Dynamical stresses in the high class wind turbine blades caused by the vertical wind speed gradient. PART 1 - Aerodynamical loads, 2019, Journal of the Balkan Tribological Association Vol.25, Issue3
10.	Dynamical stresses in the high class wind turbine blades caused by the vertical wind speed gradient. PART 2 - Stress analysis in the turbine blades, 2019, Journal of the Balkan Tribological Association Vol.25, Issue3

Обобщаващо заглавие на изследванията

„ИЗСЛЕДВАНЕ НА АЕРОДИНАМИЧНОТО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И ОПРЕДЕЛЯНЕ И РЕДУКЦИЯ НА ВЪЗНИКВАЩИТЕ ДИНАМИЧНИ НАТОВАРВАНИЯ ПРИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРИ ОТ ВИСОК КЛАС”

Състояние на проблематиката

Като следствие от редица аеродинамични, термодинамични, и трибологични фактори, скоростта на ветровия въздушен поток се променя в значителна степен във вертикално направление. При ветрогенераторните установки от висок енергиен клас $1,5\div 20$ MW, поради внушителни им размери, това влияе съществено върху аеродинамичното взаимодействие. Като пример, основно използвания при изчисленията в изследването, 5-мегаватов модел „NREL-5MW”, (разработен от National Renewable Energy Laboratory U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC) е с диаметър на турбинния диск от 126 метра при височина на кулата над 90 метра. Номиналният режим за тази турбина съответства на скорост на вятъра от 11,4 m/s на нивото на оста на турбината. Като се използват метеорологичните модели описващи вертикалния градиент на скоростта на вятъра [1], при върха на перката тя се изменя от 6,3 m/s при нейното долно положение до почти 16 m/s за горното положение. Очевидно това води до съществена зависимост на аеродинамичното взаимодействие от ъгъла на завъртане на турбината (ъгъла на азимута) и респективно предизвиква допълнителни циклични натоварвания. Тези променливи въздействия, сумирани за всичките перки създават общо действие върху турбината, което не е с особено голяма амплитуда на изменение и която намалява с близостта до номиналния режим. За отделната перка обаче, динамичните компоненти са с много голяма амплитуда и съответно се явяват изключително сериозен източник за натоварване на умора и играят голяма роля за експлоатационна продължителност на установките и за определянето на междуремонтните интервали на работа.

Основен теоретичен модел при изследване аеродинамичното взаимодействие е така наречения BEM (Blade Element Momentum) модел, основаващ се на теоремите: за изменение на импулса и на момента на импулса и на уравнението на Бернули, определящи неговото аксиално и тангенциално (ротационно) движение и съответните въздействия върху турбината. Чрез съпоставянето със сумираните аксиални сили и въртящи моменти, действащи върху дискретните елементи, изграждащи перката се получават зависимости за индукционните фактори, отчитащи изменението на аксиалната и на ъгловата скорост на потока. Те са нелинейни и тяхното изчисление се реализира чрез итеративна процедура използваща експериментално определените стойности на коефициентите на подемната сила и на съпротивлението за съответния профил на елемента и ъгъл на атака на потока. Подхода е разработен основно от Ранкин (Rankine), Фруд (Froude) и Бетц (Betz) [2÷4], като корекции за

завихрянето около върха и основата на перката се отчита чрез корекция основаваща се на теорията на Прандтл за тънък граничен слой [4÷7].

Основно допускане при тия разглеждания е, че флуидното поле е хомогенно, което е предпоставка обтичането на всички перки да се разглежда като еднакво и независимо от положението им. При нехомогенно във вертикално направление поле, обаче елементите равноотдалечени от оста на турбината, но принадлежащи към различни перки, имат различен ъгъл на атака и респективно аеродинамичното взаимодействие ще е различно. Очевидно е, че директното прилагане на класическата ВЕМ теория не е съвсем адекватно. Някои автори се опитват да отчетат вертикалния градиент на скоростта на вятъра като въвеждат в динамичните въздействия хармонична компонента от азимут ъгъла [8÷11]. Този подход не отчита факта, че индукционните коефициенти би трябвало да се формират като се отчита едновременно различната скорост на вятъра при отделните перки и би могло да се каже, че този подход в известна степен отчита функционалната зависимост, но не дава точна количествена оценка. Освен това при скорости на вятъра под номиналната и самата функционална зависимост започва да се различава значително от хармоничната.

Литература

1. Landberg L., *Meteorology for Wind Energy – An Introduction*, John Wiley & Sons Ltd., 2016.
2. Rankine W., W. Froude, On the mechanical principles of the action of propellers, Transactions of the Institution of Naval Architects, **6**, 13-39, 1865.
3. J. Anderson, *Fundamentals of aerodynamics*, McGraw-Hill Inc., 1991.
4. M. Hansen, *Aerodynamics of wind turbines – Third edition*, Taylor & Francis Group, 2015;
5. Prandtl L., Applications of modern hydrodynamics to aeronautics, Translated by the NACA, Technical Report №116, NACA Annual Report 7, 157-215, 2003.
6. R. Wilson, P. Lissaman, *Applied aerodynamics of wind power machines*, National Science Foundation, Oregon State University, USA, 109, 1974.
7. Buhl M. L., A New Empirical Relationship between Thrust Coefficient and Induction Factor for the Turbulent Windmill State, Technical Report NREL/TP-500-36834, pp.12, 2005.
8. Хк В., T. Wang, Y. Yuan and J. Cao, Unsteady aerodynamic analysis for offshore floating wind turbines under different wind conditions. Philosophical transactions of the R. Soc. A, **375**, rsta.2014.0080, The Royal Society Publ., 2015.
9. Smilden E., A. Sørensen, L. Eliassen, Wind model for simulation of thrust variations on a wind turbine. Energy Procedia **94**, 306, Science Direct, 2016.
10. Pedersen M., T. Larsen, H. Madsen, and G. Larsen, More accurate aeroelastic wind-turbine load simulations using detailed inflow information. Jour. Wind Energ. Sci. Discussion, (2018).
11. Silva Cl., M. Donadon, Unsteady Blade Element-Momentum Method Including Returning Wake Effects. J. Aerosp. Technol. Manag., **5**, №1, 27, (2013).

Основни цели и задачи на изследването

1. Да се адаптира класическия вариант на ВЕМ теорията към нехомогенно във вертикално направление поле;
2. Да се получат разпределението на аеродинамичните характеристики и силовите въздействия като функция на азимутния ъгъл;
3. Да се разработят крайно-елементни модели за получаване на динамичните деформации и напрежения;
4. Да се разгледа решението, натоварванията, деформациите и напреженията при наличие и на надлъжна турбулентност т.е. при нехомогенен и нестационарен въздушния поток;
5. Да се разработи приложен софтуер и да се реализират числени симулации за прототип, чрез които да се извърши верификация на резултатите с литературни данни;
6. Да се извърши синтез на управление на ъгълът на завъртане на перките (pitch control), основаващо се изведената теория и водещо до повишаване на ефективността на ветрогенератора.

Допълнителни задачи са дефинирани и решени, чрез част от публикациите от група показатели Γ , явяващи се допълнение към темата.

АНОТАЦИИ НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ПОКАЗАТЕЛ В4 (последователността е съгласно развитието на изследванията)

№4 “BEM Theory Adaptation Taking into Account the Wind Speed Vertical Gradient for Wind Turbines of High Class. Part 1 A Theoretical Formulation”

Публикацията разглежда моделите описващи вертикалното разпределение на скоростта на вятъра. Като най-прецизно е разгледано и са дефинирани параметрите на логаритмичното разпределение основаващо се на теорията на Лудвиг Прандтл за граничния слой и което се основава на физически и метеорологични проучвания и отчита ред трибологични, аеродинамични и термодинамични фактори на ветровия флуиден поток и особеностите на прилежащата на ветрогенератора околна среда и терен. В публикацията допълнително е отразена и вертикалната турбулентност като в разпределението е включена Универсалната функция от Теорията за подобие на А. С. Монин и А. М. Обухов в нейната интегрална форма, явяваща се оценка на степента на устойчивост на граничния атмосфернен слой. Зададени са конкретните стойности на величините отнесени към използвания за илюстрация и верификация на изследванията ветрогенератор и е генерирана фамилията разпределения съответстващи на номиналната скорост и на други десет в интервала на работния диапазон скорости на вятъра, отнесени към нивото на оста на турбината.

Изследването разглежда адаптирането на Blade element momentum теорията към условията за нехомогенно във вертикално флуидно поле. В

основата си, тази адаптация отчита в аеродинамичните зависимости различieto в стойностите на скоростта на вятъра за отстоящите на равни разстояния от оста на турбината елементи на отделните перки на турбината, водещо до различни ъгли на атака и респективно и на коефициентите на подемната сила и на съпротивлението. Получени са нови зависимости за аксиалния и тангенциалния индукционни фактори като функции не само на радиуса на турбинния диск, но и на ъгъла на азимута (на завъртането на турбината отчитан от горно вертикално положение). Въведени са нови характеристики като интегрални аксиални и тангенциални функции - K_{Thrust} и K_{Torque} , интегрално отношение на тангенциалната скорост на върха на перката към скоростта на вятъра - $\tilde{\lambda}$, всичките като функция на ъгъла на азимута. Загубите от формирането на вихри при върха и основата на перките са отчетени чрез корекцията на Прандтл-Глауерт. Като краен резултат са получени зависимостите задаващи разпределението на аксиалната и тангенциална сили действащи върху перките като функции на радиуса и на ъгъла на азимута, както и сумарните аксиални, тангенциални и вертикални динамични сили, действащи на оста на турбината. Изведени са и изразите за сумарния въртящ момент и за мощността на турбината, също в зависимост от ъгъла на азимута.

№2 „Some aspects of the influence of the vertical wind speed gradient on the blade aerodynamics loads in high class wind generator”

Публикацията описва отново основните зависимости на предложеното адаптиране на ВЕМ теорията с оглед отчитане на вертикалния градиент на скоростта на вятъра. На базата на тях е развит приложен софтуер, с който са определени за номиналния режим на прототипния ветрогенератор основните аеродинамични характеристики: разпределението по дължината на перките на аксиалния и тангенциалния индукционни фактори, на аксиалната и тангенциални сили, както и сумарните аксиални сили и въртящи моменти генерирани в отделните перки и обобщените им стойности върху турбината, всичките те като функция на ъгъла на азимута.

От симулации се вижда, че амплитудата на аксиалната сила върху отделната перка е от порядъка на почти 20% от средната ѝ стойност, а за тангенциалната тя надхвърля 40%. При това, за някои части от перките, тя надхвърля тези стойности. Това доказва, че вертикалния градиент на скоростта на вятъра при ветрогенераторите от този клас, предизвиква значителни динамични натоварвания, явяващи се предпоставка и за значителни натоварвания на умора.

Поради симетричното разположение на перките, сумарните въздействия върху турбината са с порядък по-малка амплитуда, което вероятно е причината това влияние да не е било обект на по-задълбочени изследвания.

Получената чрез изчисленията номинална мощност напълно съответства на фирмена мощност на турбината и на експлоатационните литературни данни, което реално се явява косвено потвърждение за адекватността на развитите теоретични постановки.

№5 BEM Theory Adaptation Taking Into Account the Wind Speed Vertical Gradient for Wind Turbines of High Class Part 2 Numerical Analysis of the Aerodynamic Interaction

В тази публикация е описан по-детайлно алгоритъма за реализиране предложената теория за разширение на BEM теорията с отчитане на вертикалното нехомогенно флуидно поле. Въз основа на него се анализира аеродинамичното взаимодействие и характеристики в целия работен диапазон от скорости на вятъра.

Разглежданата прототипна турбина е изградена от 10 различни профилни стандарти, като е приведена информация за изменението хордата и ъгъла на завъртане на профилите спрямо надлъжната ос на перките (pitch angle), както и за функционалните зависимости на съответните коефициенти на подемната сила и на съпротивлението от ъгъла на атака. Въз основа на получените зависимости за аеродинамичното взаимодействие и на комплексен динамичен модел на ветрогенератора, включващ турбината, трансмисията и генератора (описан в публикации от група Г), са получени характеристиките: скорост на вятъра-генериран въртящ момент и въртящ момент-ъглова скорост на турбината.

Тъй като индукционните коефициенти в получените зависимости фигурират в явна и неявна форма (формирайки ъглите на атака, които пък определят коефициентите на подемната сила и на съпротивлението), то в публикацията е предложен алгоритъм за тяхното определяне, чрез итеративна процедура.

В резултат от разработения софтуер реализиращ предложената адаптация на BEM теорията, са определени за номиналния режим на турбината като функция от ъгъла на азимута: разпределенията по дължината на перките на ъгъла на атака, на индукционните фактори, на корекцията на Прандтл – Глауерт, на аксиалните и тангенциални аеродинамични сили, както и сумарните сили и моменти върху перките и върху турбината.

В публикацията за целите на управлението в реално време е предложено, апроксимиране на получените резултати чрез изчислително по-елементарния едномерен модел на Ранкин-Фрут-Бетц, което се извършва въз основа на оптимизационна процедура. Получените апроксимиращи резултати не надхвърлят отклонение от 5%, с изключение на резултатите за минималната за работния диапазон скорост на вятъра. Илюстрирани са графичните зависимости на аеродинамичните характеристики при този модел.

В заключение са получени, за скорости на вятъра между минималната и номиналната, фамилиите характеристики на разпределението на нормалната и тангенциалната сили по дължината на перките като функции на ъгъла на азимута.

№7 Dynamic stress analysis of a blade of wind turbine generator taking into account vertical wind speed gradient

В публикацията са получени и се анализират подробно аеродинамичните характеристики и въздействия за различни скорости на ветровия поток – номиналната, близка до минималната и средна.

№3 „A synthesis of a blade pitch control for large wind turbines, taking into account the functional dependence of the torque generated in the blades from the azimuth”

Публикацията разглежда синтез на управление на ъгъла на завъртането на перките около надлъжната им ос (така наречения Pitch control), отчитащо вертикалното изменение на скоростта на вятъра и целящо да повиши производителността на ветрогенераторната установка, а при скорости на вятъра над номиналната да поддържа режим на работа съответстващ на номиналния с оглед защита от динамични претоварвания и аварии.

Предлаганото управление се основава на идеята за индивидуален Pitch control на перките при скорости на вятъра под номиналната. При него всяка от перките се управлява съобразно нейния азимут ъгъл като се реализира оптимален ъгъл на атака отчитащ изменението скоростта на вятъра по вертикалата.

За скорости на вятъра над номиналната управлението преминава в колективен Pitch control като всички перки се завъртат на еднакъв ъгъл. При него се реализира такова намаляване ъгъла на атака, че независимо от скоростта на вятъра (до горната границата при която генератора се изключва), да се получи въртящ момент близък до номиналния.

Синтеза на индивидуалния Pitch control, се извършва като се реализира оптимизационна процедура за всяка от дискретни стойности на ъглите, получени чрез зададена стъпка, в рамките на един оборот от завъртането на турбината. Поради симетричното разположение на перките, за част от тия положения зависеща от броя на перките, пресмятанията са идентични, което облекчава изчислителния процес. За дадено положение на турбината оптимизационни параметри се явяват ъглите на завъртане на всичките перки. Така се отчита взаимното влияние на различното обтичане на отделните перки в общия въздушен поток. Оптимизираната целева функция се явява генерирания от аеродинамичното взаимодействие въртящ момент на турбината. Изчисленията се извършват съгласно изведените зависимости от модифицираната ВЕМ теория, като различните ъгли на завъртане на перките, се зависят от стойностите на оптимизируемите параметри. Използвания оптимизационен алгоритъм е итеративен квази-Нютонов метод – SQP (Sequential quadratic programming), с начално покритие за определяне на начално приближение посредством Соболеви Lp-последователности генерирани в тримерния хипер-куб. За получените резултати се прилага полиномиална апроксимация, от която се получава управлението като функция

на азимута. Процедурата се повтаря за дискретни стойности на скоростта на вятъра в диапазона от минималната до номиналната. В резултат се получават стойностите на управлението, т.е. ъгъла на завъртане на перката, във функция от скоростта на вятъра на нивото на оста на турбината и от ъгъла на азимута. Междинните стойности се получават чрез двумерна апроксимация с кубични сплайни или чрез обучение на невроконтролер.

Колективния Pitch control се прилага за дискретни стойности на вятъра над номиналната, като посредством итеративна процедура се цели достигане на максимално приближаване до номиналния въртящ момент на турбината.

Приведени са числени и графични резултати, като от тях се вижда че индивидуалния контрол, генериран въз основа на модифицираната ВЕМ теория и на описания подход и алгоритъм, позволява осезаемо увеличението на генерираната мощност, особено за скоростите на вятъра близки до номиналната.

№6 BEM theory adaptation taking into account non-uniform, non-stationary wind field

Тази публикация съчетава адаптираната ВЕМ теория, отчитаща вертикалния градиент на скоростта на вятъра, с надлъжната турбулентност т.е. разглежда се обтичане на турбината с нехомогенно и нестационарно ветрово поле.

Надлъжната скоростна турбулентност на вятъра се представя чрез модела на Каймал за спектралната плътност за спектралната ъ плътност. Описани са параметрите на модела и техните възприети стойности. Описан е подробно алгоритъма за получаване на времевата извадка, която съгласно стандарт IEC 61400-1, 2012 се приема за 600 секунди:

- чрез спектралната плътност се изчислява амплитудно-честотната характеристика;
- генерира се фазо-честотната характеристика, като равномерно разпределена в интервала $[0 \div 2\pi]$;
- формира се характеристика на комплексния коефициент на усилване, от която чрез обратна трансформация на Фурие се получава времевата извадка.

Въз основа на характеристиката скорост на вятъра - ъглова скорост, се получава изменението на ъгловата скорост на турбината като функция на времето, а от нея чрез интегриране се получава и зависимостта на ъгъла на азимута от времето. Така на базата на получените чрез модифициратата ВЕМ теория зависимости за въртящия момент и аксиалната сила, се получават въртящия момент на турбината и разпределението на аксиалната сила по дължината на перката като функции на времето.

№8 Dynamic stress analysis of a blade of wind turbine generator taking into account vertical wind speed gradient

Публикацията разглежда динамичните натоварвания в перките породени от вертикалния скоростен градиент на вятъра. Анализират се натоварванията породени от само от аксиалната и центробежната сили. Перката се разглежда като греди на Ойлер-Бернули. Масово-инерционните, еластичните и демпфращи характеристики се разглеждат като разпределени по дължината на перката. Аксиалната сила също е разпределена и се явява функция на ъгъла на азимута, респективно на времето. Съответно разпределението центробежната сила по дължината на перката зависи и от ъгловата скорост на турбината. Полученото е частно диференциално уравнение с гранични условия съответстващи на конзолно закрепена греда и нулеви начални условия и е направен преход към съответното вариационно представяне. Решението се реализира чрез дискретизация на перките съгласно Метода на крайните елементи. Елементите са с по два възела, всеки с по две степени на свобода. За апроксимация на модалните форми се използва полиномиална апроксимация от трети ред. Влиянието на центробежната сила се отразява във възникване на допълнения на еластичната матрица явяващи се функции на ъгловата скорост на турбината. Формирани са глобалните матрици и е получена системата диференциални уравнения. Разглеждания пример е с 63 елемента и съответно 126 степени на свобода.

При числения анализ се разглежда аксиална сила, чиято динамична компонента се формира от вертикалното изменение скоростта на вятъра. Получени са разпределението на деформациите, огъващия момент, срязващата сила и напрежението на огъване във функция от ъгъла на азимута, респективно на времето.

Резултатите доказват влиянието на изменението на скоростта на вятъра по вертикала, за възникване значителни динамични напрежения и съответно на натоварвания на умора определящи експлоатационната продължителност на ветрогенераторите от висок клас.

№9 Dynamical stresses in the high class wind turbine blades caused by the vertical wind speed gradient. PART 1 - Aerodynamical loads

В публикацията са генерирани няколко времеви извадки при различни средни стойности на скоростта на вятъра с надлъжна турбулентност според модела на Каймал.

Получени са за различните скорости на вятъра, фамилиите повърхнини на разпределението на нормалната и тангенциални сили по дължината на перката като функции на ъгъла на азимута. Чрез зависимостите: скорост на вятъра - въртящ момент и въртящ момент - ъглова скорост се определят разпределенията на тези сили във функция на времето за съответните времеви извадки на изменение на вятъра на нивото на оста на турбината, както и сумарната аксиална и тангенциална сили предавани към кулата на ветрогенератора.

№10 Dynamical stresses in the high class wind turbine blades caused by the vertical wind speed gradient. PART 2 - Stress analysis in the turbine blades

На базата на натоварванията получени в първата част се извършва якостно-деформационен анализ, като тук се разглеждат деформациите в аксиално и тангенциално направление. Масовите, еластичните и демпфиращи характеристики се разглеждат като разпределени по дължината на перката. Външните въздействия са разпределени: аксиална, тангенциална и центробежна сили. Получена е системата частни диференциални уравнения, с гранични условия съответстващи на гредата с един неподвижен край и нулеви начални условия. Преминува се към вариационна форма на представяне. Решението се извършва по метода на крайните елементи, като елементите са от по два възела с по четири степени на свобода всеки. Формирани са глобалните масова, еластична и демпфираща матрици и матриците на външните въздействия. Поради надлъжната турбулентност на скоростта на вятъра, ъгловата скорост е променлива във времето, което прави такава и еластичната матрица. Получените резултати за деформациите и напреженията по двете направления показват, че тия предизвикани от тангенциалната сила са в пъти по-малки, но все пак имат значими, за определяне на напрегнатото състояние, стойности.

№1 Modelling and Control of Wind Turbine Tower Vibrations

Статията разглежда вибрации на кулата на ветрогенератора. Основен възбудител е аксиалната сила действаща върху оста на турбината в следствие от надлъжната турбулентност на вятъра. Останалите въздействия се пренебрегват като относително малки. Кулата се разглежда като гредата на Ойлер-Бернули с един неподвижен край и съсредоточена маса в другия, при съответните гранични условия и нулеви начални условия. Масовите, еластичните и демпфиращи характеристики се разглеждат като разпределени. Търси се класическо решение чрез разложение по собствените форми, като се отчита само първата имаща много по-голямо влияние в сравнение с другите. Изгражда се комплексен модел на ветрогенератора, включващ: изведения модел на кулата, приведения модел на трансмисията към ротора на турбината, модел на динамиката на генератора и на сервосистемата за регулиране ъгъла на завъртане на перките. Тъй като генериращия момент и аксиална сила зависят от ъгъла на завъртане на лопатките, моделът се линеаризира в околността на номиналния режим посредством разложение на променливите в ред на Тейлор и ограничаване до първите членове. Изведения линеен модел се използва за синтез на линеен квадратичен регулатор на ъгъла на завъртане на перките като целевата функция включва минимално отклонение от номиналната ъглова скорост на турбината и минимизиране на вибрационното преместване и скорост на върха на кулата. Управлението се реализира като обратна връзка по отклонението на параметрите от номиналните стойности. Матрицата в обратната връзка се получава от уравнението на Рикати, съгласно Принципа на

максимума и на подхода за синтез на линеен квадратичен регулатор. Тя се явява също функция на скоростта на вятъра, затова за да се реализира управление в реално време се използва линейна интерполация между няколко изчислени нейни стойности за определени скорости на вятъра.

Публикацията е цитирана многократно в списания с импакт фактор, индексирани в Scopus и в монография издадена от Springer през 2019г.

**II. НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ В НЕРЕФЕРИРАНИ СПИСАНИЯ С
НАУЧНО РЕЦЕНЗИРАНЕ ИЛИ В РЕДАКТИРАНИ КОЛЕКТИВНИ
ТОМОВЕ – показател Г8**

1. ПУБЛИКАЦИИ ДОПЪЛВАЩИ ТЕМАТИКАТА НА МОНОГРАФИЯТА

Списък на публикациите

№	Заглавие
1	Генов Ю., И. Ангелов, 2016, Влияние на вертикалното разпределение на скоростта на вятъра върху динамичното натоварване на ветрогенератори от висок клас, BulTrans-2016 Proceedings, ISSN 1313-955X, стр.136-140
2	Genov J., 2018, Effects of Vertical Wind Speed Distribution on the Aerodynamic Interaction at Large Wind Turbine Installations, First International Conference of Marine Engineering, 21-23 Nov., 2018, NVNA Varna, ISBN 978-619-7428-31-5, pp.68-75
3	V. Pasheva, G. Venkov, E. Chankov, J. Genov, 2006, Mathematical modeling of an elastic beam fixed to a simple oscillator, Proceeding of the Conference: Applications of mathematics in engineering and economics AMEE'06, June 2006, Sozopol, Softtrade Ltd., Sofia, ISBN 978-954-334-050-7/pbk, pp.175-181
4	Genov J., I. Angelov, I. Kralov, 2018, Dynamic loads of the turbine blades in high-power class wind generators caused by the vertical wind turbulence, First International Conference of Marine Engineering, 21-23 Nov., 2018, NVNA Varna, ISBN 978-619-7428-31-5, pp.76-85
5	Генов Ю., С. Ташков, К. Арнаудов, К. Адарски, 2011, Динамичен модел на ветрогенератор с регулируем ъгъл на атака на перките на турбината, Научна конференция с международно участие – БулТранс-2011, 27-30 септ. Созопол 2011, Изд. ТУ-София, ISSN 1313-955X, стр.212-218
6	Генов Ю., С. Ташков, К. Арнаудов, К. Адърски, 2012, Механо-математично моделиране на аеродинамичното взаимодействие на вятъра с витлата при ветрогенератор с хоризонтална ос, Научна конференция с международно участие – БулТранс-2012, 26-28 септ. Созопол 2012, Изд. ТУ-София, ISSN 1313-955X, стр.172-179
7	Генов Ю., Г. Венков, Б. Гилев, 2013, Моделиране и управление на ветрогенератори с хоризонтална ос. Част1 Динамичен модел и линеаризация, Механика на Машините ISSN 0861-9727, №102, кн.3, 2013, стр.3-10
8	Генов Ю., Г. Венков, Б. Гилев, 2013, Моделиране и управление на ветрогенератори с хоризонтална ос. Част2 Синтез на управляващи контролери, Механика на Машините ISSN 0861-9727, №102, кн.3, 2013, стр.62-68
9	Genov J., G. Venkov, B. Gilev, 2012, Modeling and Control of a Wind Turbine, 2012, Information Technologies and Control, №2/2012, ISSN 1312-2622, pp.15-22
10	M. Todorov G. Vukov J. Genov, 2012, Parametric Torsional Vibrations of a Drive Train of a Wind Turbine with Faults in Meshing Stiffness, Efficacité énergétique – sources d'énergies renouvelables – protection de l'environnement COFRET'12, Sozopol, Bulgarie, ISBN 978-619-460-008-3 pp.1-6
11	Славчев Я., Ю. Генов, С. Ташков, Г. Венков, 2013, Изследване динамичните натоварвания на конструктивни елементи на вятърни турбини работещи по посока на вятъра. Част1 Моделиране на аеродинамичното взаимодействие, Механика на Машините №101, кн.2, ISSN 0861-9727, 2013, стр.75-80

12	Славчев Я., Ю. Генов, С. Ташков, Г. Венков, 2013, Изследване динамичните натоварвания на конструктивни елементи на вятърни турбини работещи по посока на вятъра. Част2 Якостно-деформационен анализ, Механика на Машините ISSN 0861-9727, №101, кн.2, 2013, стр.81-86
13	Адърски К., Ю. Генов, К. Арнаудов, 2012, Анализ на аеродинамичното взаимодействие между вятъра и турбината при ветрогенератор с вертикална ос, Научна конференция с международно участие по авиационна, автомобилна и железопътна техника и технологии – БулТранс-2012, 26-28 септ. Созопол 2012, Изд. ТУ-София, ISSN 1313-955X, стр.166-171
14	Адърски К., Ю. Генов, К. Арнаудов, 2013, Моделиране и симулационно изследване на вятърна турбина с вертикална ос на въртене – тип H-ROTOR. Част1 Модел на аеродинамичното взаимодействие, Механика на Машините ISSN 0861-9727, №102, кн.3, 2013, стр.19-25
15	Славчев Я., Адърски К., Ю. Генов, 2013, Моделиране и симулационно изследване на вятърна турбина с вертикална ос на въртене – тип H-ROTOR. Част2 Симулационно изследване, Механика на Машините ISSN 0861-9727, №102, кн.3, 2013, стр.26-31

АНОТАЦИИ НА ПУБЛИКАЦИИТЕ

№1 Влияние на вертикалното разпределение на скоростта на вятъра върху динамичното натоварване на ветрогенератори от висок клас

Тази публикация е първото изследване върху влиянието на вертикалния градиент на скоростта на вятъра върху динамичните натоварвания на перките на турбината на ветрогенератори от висок клас. Разглеждат се моделите, описващи изменението на скоростта на вятъра по вертикалата и зависимостите на отделните параметри от физичните, термодинамичните и трибологични фактори, както и условията за възникване на турбулентност в граничния атмосфернен слой. Описват се геометричните характеристики на турбината и изграждащите перките профили. В средата на SolidWorks – Flow Simulation е извършена числена симулация на аеродинамичното взаимодействие при няколко сечения с цел определяне на скоростите на обтичане, налягането и аксиалната сила за различни положения от завъртането на перката, като се отчита изменението на скоростта на вятъра и респективно и промяната на ъгъла на атака. Числено е доказано, че поради вертикалния скоростен градиент на вятъра възникват значителни динамични компоненти в аксиалната сила, които пораждат допълнителни напрежения и ефекти на умора на материала на перките.

№2 Effects of Vertical Wind Speed Distribution on the Aerodynamic Interaction at Large Wind Turbine Installations

Тази публикация до голяма степен обобщава голяма част от резултатите описани в публикациите на монографията – адаптиране на ВЕМ теорията за нехомогенно флуидно поле във вертикално направление, определяне на разпределението на силите на аеродинамичното взаимодействие по дължината

на перката в зависимост от стойностите на скоростта на вятъра на нивото на оста на турбината и на ъгъла на азимута и др.

№ 3 Mathematical modeling of an elastic beam fixed to a simple oscillator

Това е по-ранна публикация и описания в нея модел, респективно неговото математическо решение с използване дискретизация по Метода на крайните елементи, са използвани за определяне на динамичните напрежения и деформации възникващи в перките на турбината и в кулата на ветрогенератора.

№ 4 Dynamic loads of the turbine blades in high-power class wind generators caused by the vertical wind turbulence

Тази публикация предхожда изследванията от публикации №8 и №10 от Монографията, свързани с определяне на динамичните напрежения и деформации на перките. При нея не е включена центробежната сила като въздействие и в резултат са получени малко по-големи деформационни премествания.

№5 Динамичен модел на ветрогенератор с регулируем ъгъл на атака на перките на турбината

В публикацията е изграден комплексен динамичен модел на ветрогенераторната установка, включваща модели на:

- вятъра с надлъжна турбулентност съгласно модела на Каймал;
- аеродинамичното взаимодействие с получените зависимости на коефициента на мощността от отношението на скорост на върха на перките към скоростта на вятъра, за различни стойности на ъгъла на завъртане на перките;
- трансмисията, разгледана като тримасов модел: турбина – редуктор – ротор на генератора, с отчитане на торзионните еластичности и демпфиране в турбинния и генераторния вал;
- модел на асинхронния генератор разгледан с разлагане по q-d осите и след това трансформиран към abc-трифазен модел;
- сервосистемата за регулиране на ъгъла на завъртане на перките, моделирана като апериодична система от втори ред;
- управляващ сервосистемата контролер – ПИД - регулатор, формиращ управление по отклонението на ъгловата скорост на генератора от номиналната.

Въз основа на изградените модели е извършено софтуерно моделиране на цялата установка в средата на MATLAB – Simulink.

Извършена е симулация за конкретни параметри на модела и са приведени резултати за динамичните, силовите и електрическите

характеристики на турбината, трансмисията, генератора и на системата за управление ъгъла на атака.

№6 Механо-математично моделиране на аеродинамичното взаимодействие на вятъра с виллата при ветрогенератор с хоризонтална ос

Публикацията дискутира подробно аеродинамичното взаимодействие и теоретичните основи на ВЕМ теорията.

Разгледани са основите на аеродинамичното взаимодействие и определяне на възникващите сили, моменти и генерирана мощност на турбината. За отчитането на завихрянията на потока около началото и края на перките е използвана корекцията на Прандтл - Бюл. За прехода от двумерната ВЕМ теория към пространствено представяне са използвани зависимостите на Чавиаропулос – Хансен (P. Chaviaropoulos and M. Hansen). Извършена е симулация чрез числена итеративна процедура. Задачата е решена и чрез численото пресмятане на уравненията на Навие - Стокс за равнинно обтичане на даден елемент, както и за обтичане на цялата ветрогенераторна установка съвместно с кулата. Отчитането на турбулентността на потока се основава на $k - \epsilon$ моделът, включващ осредненото уравнение на Рейнолдс-Навие-Стокс и уравненията за турбулентната кинетична енергия и турбулентната вихрова дисипация. Дадена е подробна информация за изграждането на 2-D и 3-D изчислителните модели и са приведени числени и графични резултати от извършените симулации.

№7 Моделиране и управление на ветрогенератори с хоризонтална ос. Част I Динамичен модел и линеаризация

Публикацията разглежда всеобхватен модел на ветрогенератора и се явява обобщение и надграждане на публикация №1 от монографичния труд и на предходната публикация №5.

Разглеждания модел обхваща:

- Модел на вятъра с отчитане на надлъжната и вертикалната турбулентност;
- Модел на аеродинамичното взаимодействие с отчитане на ефектите в следата на потока и завихрянето му около върха и основата на перките;
- Линеаризиран модел на аеродинамичното взаимодействие чрез представяне на зависимостите за аксиалната сила, въртящия момент и генерираната мощност посредством разложение в ред на Тейлор. Разложението е по отклоненията на стойностите на ъгловата скорост на турбината, скоростта на вятъра и на ъгъла на завъртане на перките около оста им, регулиращ ъгъла на атака, по отношение на номиналните за зададено работно състояние;
- Модел на трансмисията, включващ турбината, редуктора и ротора на електрогенератора;

- Електро-динамичен модел на генератора (описан в публикация №5), който се линеаризира по начин сходен на този за аеродинамичното взаимодействие;
- Подробно описана физическа структура и изведен и линеаризиран механо-математичен модел на изпълнителния сервомеханизъм за управление на ъгъла на атака;
- Модел на системата за регулиране на електрогенератора;
- Модел на кулата на ветрогенератора с въздействия от аксиалната сила от турбината и от прякото въздействие от вятъра с експоненциално разпределение на скоростта му по вертикала. Изведен е механо-математичния модел и по метода на крайните елементи се дискретизира и свежда до описание от система от обикновени диференциални уравнения.

Софтуерно, комплексният модел е изграден в средата MATLAB-Simulink.

№8 Моделиране и управление на ветрогенератори с хоризонтална ос. Част2 Синтез на управляващи контролери

Въз основа на изведения комплексен модел се синтезират следните регулатори:

➤ Линеен квадратичен регулатор.

Минимизируемите величини са: 1) отклонението на ъгловата скорост от номиналната за дадено състояние, свързана с производителността на генератора и 2) вибропреместването и виброскоростта на върха на мачтата характеризиращи динамичните натоварвания. По същество те налагат противоречиви изисквания към аеродинамичното взаимодействие, определено от управляемия ъгъл на атака на перката.

Управлението е завъртането на перката, определящо ъгъла на атака.

Входното въздействие е скоростта на вятъра.

При синтеза на Линеен квадратичен регулатор се използва иновативен подход с комбинирането му с компенсатор по входното въздействие. Така управлението се формира като сума от обратна връзка по минимизируемите променливи и от сигнала на входното въздействие. Съответните матрици в двете вериги се формират от решението на диференциалното и от алгебричното уравнения на Рикати.

Числените симулации показват ефективността на управлението в околността на зададеното състояние. Направен е извода, че за ефективност в целия работен диапазон е необходимо да се реализира второ супервайзорско ниво реализиращо превключване между фамилия регулатори и реализиращо адаптивност на системата.

➤ Прогнозно управление чрез контролер основаващ се на невронна мрежа.

При него не е необходимо да се работи с линеаризиран модел, като при обучението на мрежата се реализира минимизиране на целева функция

формирана от оптимизируемите характеристики в целия времеви диапазон задаващ прогнозното изменение на входното въздействие.

Използва се мрежа с един линеен и един нелинеен слой. Зададена е структурната схема в системата на MATLAB-Simulink за трениране на мрежата с използване на метода на обратното разпространение на грешката.

Приведени са резултати от числената симулация.

№9 Modeling and Control of a Wind Turbine

Тази публикация разглежда същия модел като предходната, като управлението се реализира, чрез два ПИД-регулатора – единия управляващ работа на генератора, а втория сервомеханизма за регулиране ъгъла на атака. Анализира се постановка на действие на първия регулатора при скорости на вятъра под номиналната, когато се изисква възможно повишаване на електрическата мощност и същевременно минимални пулсации на напрежението на генерирания ток. Вторият регулатор действа за скорости надвишаващи номиналната, при които се изисква ограничаване на динамичните натоварвания на кулата. Коефициентите на регулаторите се синтезират по оптимизационен път, като не се разглежда възможността за съвместна работа на двата регулатора.

Приведени са резултати и анализ от числените симулации.

№10 Parametric Torsional Vibrations of a Drive Train of a Wind Turbine with Faults in Meshing Stiffness

Един от най-често авариращите компоненти на мощните ветрогенераторните установки е редуктора поради предаваните големи въртящи моменти. В публикацията, въз основа: на детайлен модел на тристепенен редуктор работещ в състава на комплексния модел, на модел на изменението на коефициентите на еластичност в зъбното зацепване и на модел на възникваща деградация на даден зъб, се извършват симулации показващи динамичното поведение и честотния спектър на усукващите трептения при настъпили дефекти в различните степени и елементи на редуктора. Така става възможно на базата на вибрационен мониторинг да се идентифицират и да се реализират превантивни действия срещу настъпващи аварии.

№11 Изследване динамичните натоварвания на конструктивни елементи на вятърни турбини работещи по посока на вятъра. Част1 Моделиране на аеродинамичното взаимодействие

Публикацията изследва аеродинамичното взаимодействие и динамичното натоварване на клас турбини, които работят по посока на вятъра. При тях ориентирането по посока на вятъра е много лесно, но пак възниква засенчващо действие от страна на кулата и гондолата на турбината.

Разглежда се логаритмично разпределение на вятъра по вертикалата. Моделът включва кулата с турбината и гондолата и се анализира числено по МКЕ. Приведени са характеристиките и информация за изграждане на модела, както и за формиране на изчислителната мрежа и за анализа на аеродинамичното взаимодействие. В резултат на CFD-симулации са получени разпределенията на скоростите и наляганията. Анализирано е влиянието на засенчването при преминаване на перката в равнината на кулата. Изградения модел позволява анализ на аеродинамичните характеристики и на напреженията възникващи в този тип турбини. Те дават възможност за усъвършенстване теоретичните изследвания, като например в ВЕМ теорията да се въведат коригиращи фактори отчитащи засенчващия ефект от кулата и гондолата.

№12 Изследване динамичните натоварвания на конструктивни елементи на вятърни турбини работещи по посока на вятъра. Част2 Якостно-деформационен анализ

За разглеждания тип турбини е проведен якостно - деформационен анализ по два начина.

Единия се основава на решение на частните диференциални уравнения описващи кулата и перката като греди на Ойлер – Бернули, подложени на въздействието на вятъра, чрез дискретизация по Метода на крайните елементи, по начин дискутиран в предните публикации. Този модел е изследват в средата на MATLAB.

При другия, въз основа на изградения модел в първата част, се изчисляват напреженията и деформациите. Моделът е съставен в SolidWorks и анализиран чрез CFD-симулации в ANSYS. В публикацията се дава подробна информация за особеностите и параметрите при изграждането на този модел.

Получените резултати от двата модела показват добра близост в напреженията и деформации за случаите, когато перките не се намират в диапазона на засенчване от кулата.

№13 Анализ на аеродинамичното взаимодействие между вятъра и турбината при ветрогенератор с вертикална ос

Публикацията разглежда аеродинамичното взаимодействие при ветрогенератори с вертикална от тип Н-ротор.

Основен момент при този тип турбини е факта, че ъгълът на атака е функция на ъгъла на завъртане на турбината, което означава, че това се отнася и за индукционните фактори. За анализа, флуидния поток преминаващ през турбината се дискретизира на канали, за които се изчисляват индукционните фактори, по алгоритъм одобрен на този използван при турбините с хоризонтална ос. Особеното е, че при положенията на перката в предната и задна част на канала обтичането е различно и затова се получават различни стойности. Чрез тях се изчисляват скоростите на обтичане на входа и изхода и се получава

общия фактор за тръбата. Така става възможно изчисляването на аксиалната сила и генерирания въртящ момент и мощност за всяко дискретно положение на перката. Общия момент се получава чрез сумиране на моментите в лопатките, като се отчита дефазацията между тях. Извършена CFD-симулация и и съпоставка с аналитичните резултати. Показани и анализирани са ефектите от засенчването между лопатките и както и между кулата и лопатките. Друг ефект е формирането и откъсването на вихри, които силно затрудняват аналитичното описание на взаимодействията в задната част на каналите.

№14 Моделиране и симулационно изследване на вятърна турбина с вертикална ос на въртене – тип H-ROTOR. Част1 Модел на аеродинамичното взаимодействие

В публикацията е извършен подробен анализ на аеродинамично взаимодействие при този тип турбини. Показно е приложението на ВЕМ теорията за тях. Предложени са подходи за идентификация на индукционните коефициенти от експериментална информация. Разгледан е подробно многоканалния двустранен модел на обтичане и са приведени резултати за изменението на мощността и аксиалната и тангенциална сили.

№ 15 Моделиране и симулационно изследване на вятърна турбина с вертикална ос на въртене – тип H-ROTOR. Част2 Симулационно изследване

Извършена е числена симулация и са определени посредством числен експеримент зависимостите на въртящия момент и нормалната и тангенциални сили като функции на ъгъла на завъртане на турбината. Проследено е и влиянието на аеродинамичното взаимодействие при промяна на ъглите на атака чрез завъртане на перката около оста ъ.

2. ПУБЛИКАЦИИ ЗА МОДЕЛИРАНЕ ДИНАМИКАТА И ОПТИМАЛЕН СИНТЕЗ НА ОКАЧВАНЕТО НА РЕЛСОВИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА

Списък на публикациите

№	Заглавие
16	Чернева-Попова З., Ю. Генов, 1985, Оптимално проектиране на механична система “Возило-Релсов път”, трептяща във вертикална равнина, Годишник ВУЗ – Техническа механика, том. XX, кн. 2, ISSN 1311-0829, 1985, стр.87-92
17	Полихронов, Г., Ю. Генов, И. Кралов, Трептения на съчленено железопътно возило с двuosни талиги, Пета национална конференция по "Теория на механизмите и машините", Варна, 10-12.09.2000, Механика на машините №35 (кн.3, 2001), ISSN 0861-9727, стр.59-61
18	Полихронов, Г., Ю. Генов, И. Кралов, Трептения на двойно-съчленено железопътно возило с двuosни талиги, Пета национална конференция по "Теория на механизмите и машините", Варна, 10-12.09.2000, Механика на машините №35 (кн.3, 2001), ISSN 0861-9727, стр.62-64;

19	Полихронов, Г., Ю. Генов, И. Кралов, Динамични натоварвания в трансмисията на железопътно возило, възбудени от асинхронна карданна предавка и динамичната електрическа характеристика на електродвигателя, Механика на машините №35 (кн.3, 2001), ISSN 0861-9727, стр.54-58;
20	Генов Ю., Г. Полихронов, 2000, Оптимизиране окачването на чешка трамвайна мотриса Шеста интердисциплинарна сесия „Съвременни предизвикателства, реакции и рушения”, Контакт 2002 - доклади, София, ISBN 954-9566-10-2; след 2009г. ISSN 1313-9134ИК ТЕМТО, стр.78-83;
21	Кралов И., Ю. Генов, Г. Полихронов, 2002, Оптимизиране окачването на коша на едносъчленена трамвайна мотриса Т6М-700М с цел подобряване комфорта на возене, Десета юбилейна сесия „Трибология и интердисциплинарност” Контакт 2002 - доклади, София, ISBN 954-9566-17-X, след 2009г. ISSN 1313-9134ИК ТЕМТО, стр.78-83;

АНОТАЦИИ НА ПУБЛИКАЦИИТЕ

№16 Оптимално проектиране на механична система “Возило-Релсов път”, трептяща във вертикална равнина

Разглежда се четиримасов модел: релсов път – колело – талига – кош, описващ вертикалната динамика, отнесена към едно от колелата. Кинематичното смущение се дължи на деформации и износване на релсовия път. Приема се наличие и на смущение държащо се на небалансираност на колелото. Отчетено е и еластичното фундиране на релсовия път. Изведен е механо-математичния динамичен модел. Дефинирана е оптимизационната многокритериална задача изискваща минимално вибропреместване на коша и минимална предавана динамична сила към трасето. Оптимизирани параметри са коефициентите на еластичност и демпфиране. Многокритериалната задача се решава чрез идентифициране множеството на Парето и избор от него на оптималния компромис въз основа на Теорията на коалиционните игри.

№ 17 Трептения на съчленено железопътно возило с двусни талиги

№ 18 Трептения на двойно-счленено железопътно возило с двусни талиги

В публикациите се извеждат механо-математичните динамични модели на два типа съчленени железопътни возила. Привеждат се техните характеристики и се извършват числени симулации. На базата на това са направени препоръки относно възможностите за подобряване на характеристиките на окачването им.

№19 Динамични натоварвания в трансмисията на железопътно возило, възбудени от асинхронна карданна предавка и динамичната електрическа характеристика на електродвигателя

Разглеждана трамвайна мотриса се привежда към двумасов агрегат: двигател - трансмисия карданен вал - работна машина. Изчислени са приведените масово-инерционните, еластични и демпфиращи характеристики и съпротивителния момент. Изведен е механо-математичния модел с отчитане на

предавателната характеристика на карданния вал. Описан е и динамичния модел на задвижващия електродвигател с управлението му. Проведен е числен анализ на натоварванията за различни режими на работа и при движение в крива и са направени препоръки относно характеристиките на съединителя и геометрията на карданната предавка.

№ 20 Оптимизиране окачването на чешка трамвайна мотриса

№ 21 Оптимизиране окачването на коша на едносъчленена трамвайна мотриса Т6М-700М с цел подобряване комфорта на возене

Разглежда се оптимизационния синтез на параметрите на окачването на два вида трамвайни мотриси, като критериите са сумарната предавана динамична сила към пътното трасе и преместването разглеждано в мястото на седалката на ватмана. Многокритериалното решение в първата публикация се търси по алгоритъм аналогичен на описания в публикация №16, а във втората посредством генерирането на решения в пространството на оптимизируемите параметри посредством Соболеви L_p последователности.

3. ПУБЛИКАЦИИ - МОДЕЛИРАНЕ ДИНАМИКАТА ПОДЕМНО-ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА

Списък на публикациите

№	Заглавие
22	Джонджоров А., Венков Г. И., Ю. А. Генов, 1983, Ускоряване на числения анализ на електромеханични системи с правотоково задвижване, Годишник ВУЗ „Техническа механика”, том 18, кн.3, ISSN 1311-0829, 1983, стр.81-87; НАЦИД №416
23	Тодоров М. Д., Ю. А. Генов, 1995, Оценки на ергономичните качества на работното място на мотокар универсален повдигач с полуеластично окачване на силовия агрегат, Юбилейна научна сесия „50 години ТУ-София” 11-12.10.1995г. – доклади, Годишник на ТУ-София – Математика, Механика, Физика, Химия, Икономика, ISSN 1311-0829, т.48, кн.5, 1995г. стр. 75-81; НАЦИД №416

АНОТАЦИИ НА ПУБЛИКАЦИИТЕ

№22 Ускоряване на числения анализ на електромеханични системи с правотоково задвижване

Изследването е насочено към моделирането на твърди механични системи. По принцип те изискват интегриране с много малка стъпка, което до известна степен се преодолява с използване на неявни методи за интегриране като този на Гир. Нещата допълнително се усложняват в някои електромеханични системи, където например фигурират елементи с широчинно-импулсно управление, при които се изисква много точно уточняване на моментите на началото и края на импулса. Когато се налага и решаването на оптимизационен проблем върху такава система, то проблема с изчислителното

време става много актуален, дори при голямата разлика във възможностите на изчислителната техника в сравнение с времето на публикацията.

Задачата възниква във връзка с моделирането на електрокар с двигател с широчинно-импулсно управление и оптимизация на управлението на спиране и потегляне при някои експлоатационни ситуации.

Разгледани са два метода на локалната линеаризация и бързото тейлорово развитие. Направени са анализ и съпоставка на предимствата на всеки един от тях и е приведена числена илюстрация за интегрирането модела на електрокар. Сравнението с класическата схема на интегриране по метод тип Рунге-Кута с променлива стъпка показва петкратно редуциране на изчислителния процес.

№23 Оценки на ергономичните качества на работното място на мотокар универсален повдигач с полуеластично окачване на силовия агрегат

Разгледан е комплексен пространствен модел на мотокар с 11 степени на свобода. Източници на вибрационни смущения се явяват неравностите на трасето и неуравновесените инерционни сили на коляно-мотовилковата група на двигателя с вътрешно горене. Анализират се характеристиките на вибрационното поле в действащо през седалката и волана върху водача. За разглеждания модел се констатира недостатъчно изпълнение на ергономичните изисквания.

4. ПУБЛИКАЦИИ - МОДЕЛИРАНЕ ДИНАМИКАТА И ОПТИМАЛЕН СИНТЕЗ НА ЛЕТАТЕЛНИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА

Списък на публикациите

№	Заглавие
24	Тодоров М. Д., Ю. А. Генов, 2002, Оптимизация на геометричните параметри на хоризонтален стабилизатор на хеликоптер с цел удовлетворяване характеристиките на устойчивост и управление, Механика на машините №43, кн.5, ISSN 0861-9727, 2002, стр. 86-89;
25	Генов Ю., Тодоров М. Д., 2004, Едно приложение на задачата за собствените значения в оптимизационния синтез, Механика на машините №50, кн.1, ISSN 0861-9727, 2002, стр.113-116;

№24 Оптимизация на геометричните параметри на хоризонтален стабилизатор на хеликоптер с цел удовлетворяване характеристиките на устойчивост и управление

В работата е направена оптимизация на геометричните параметри (площ и ъгъл на поставяне) на хоризонталния стабилизатор по квазинютонов метод на Davidon-Fletcher-Powell на хеликоптер, чиято схема е с носещ и опашен винт. За целта са намерени собствените стойности и собствените вектори от диференциалните уравнения за надлъжното движение на хеликоптера. Чрез собствените стойности и вектори са формирани главните движения и са

намерени амплитудите и фазите, при зададени начални условия за установен хоризонтален полет. Условията, при които е направена оптимизацията, са изискванията на JAR-29.

№25 Едно приложение на задачата за собствените значения в оптимизационния синтез

Дискутира се прехода от собствените вектори, които могат да се получат от матрицата на състоянието на една динамична система посредством Q-R алгоритъма на ортогонални ротации, към понятието за собствени форми на движението. При наличие на демпфиране, се оказва, че този проблем изисква някои математически уточнения, особено когато част от формите са на квазипериодични движенията, а други на аperiодични. Базирайки се на това се извършва доразвиване на задачата от предходната публикация, като се добавят някои допълнителни ограничения върху главните движения съгласно стандарта JAR-29.

4. ПУБЛИКАЦИИ - МОДЕЛИРАНЕ ДИНАМИКАТА И ОПТИМАЛЕН СИНТЕЗ НА ВИБРОЗАЩИТНИ СИТЕМИ

Списък на публикациите

№	Заглавие
26	Генов Ю., З. Чернева-Попова, Синтез на многомерна нелинейна виброзащитна система при комбинирани динамични въздействия, Годишник ВУЗ „Техническа механика”, том. XVIII, кн.1, ISSN 1311-0829, 1983, стр.77-84;
27	Венков Г. И., Ю. Генов, С. А. Стефанова, 1984, Приложение на алгоритмите за многоцелева оптимизация при оптимално проектиране на системи, Годишник ВУЗ „Приложна математика”, том 20, кн.4, ISSN 1311-0829, 1984, стр.209-220;

№26 Синтез на многомерна нелинейна виброзащитна система при комбинирани динамични въздействия

Изведен е моделът на пространствена пасивна виброзащитна система, подложена на комбинирани вибрационни и ударни натоварвания с нелинейни характеристики на виброизолаторите. Характеристиките се апроксимират като линейни по части. Изведени са аналитичните решения при линейния вариант, но при отчитане на наличие на дисипацията и несиметричност на масово-инерционните и геометрични характеристики, възникващата обвързаност на движенията налагат численото решение на задачата. При моделирането ѝ се следи за всеки от изолаторите на който клон от характеристиката си е необходимо да работи. Изработен е и алгоритъм за отработване на прекъсванията, които при стандартните интегриращи процедури водят до проблеми с численото решение.

№27 Приложение на алгоритмите за многоцелева оптимизация при оптимално проектиране на системи

Разглежда се алгоритъм многокритериална оптимизация, който обединява теорията на Филфредо Парето за множеството от недоминатни решения с теорията на Джон Неш за стационарните решения при коалиционните игри. Алгоритъма е илюстриран чрез многокритериалния синтез на ударозащитна система.

ПУБЛИКАЦИИ – ИДЕНТИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА ДИНАМИЧНИ СИСТЕМИ

Списък на публикациите

№	Заглавие
28	Генов Ю., З. Чернева, 1995, Алгоритъм и числена процедура за идентификация механичните характеристики на линейни динамични системи, Юбилейна научна сесия „50 години ТУ-София” 11-12.10.1995г. – доклади, Годишник на ТУ-София, ISSN 1311-0829, т.48, кн.5, 1995г. – Математика, Механика, Физика, Химия, Икономика, стр. 67-74;
29	Клочков Л., Ю. Генов, Г. Венков, 2009, Представяне на експериментални данни във времева и честотна област получени при работа на междинна втулка в пневмовихрова монтажна глава, Научни известия на НТС по машиностроене, бр.2/112, май 2009, ISSN 1310-3946, Трудове на 18-та Национална научно-техн. конф. с международно у-е, "Автоматизация на дискретното производство -АДП 2009", стр.322-329;
30	Генов Ю., 2006, Моделиране и динамичен анализ на окачването на операторна кабина на ГТЛ в мини „МАРИЦА ИЗТОК II” – Част1 Изграждане на динамичния модел, Механика на машините №65, кн.4, ISSN 0861-9727, 2006, стр.125-129;
31	Генов Ю., Г. Полихронов, И. Кралов, 2006, Моделиране и динамичен анализ на окачването на операторна кабина на ГТЛ в мини „МАРИЦА ИЗТОК II” – Част2 Експериментални и числени изследвания на окачването, Механика на машините №65, кн.4, ISSN 0861-9727, стр.138-143;

№28 Алгоритъм и числена процедура за идентификация механичните характеристики на линейни динамични системи

В публикацията се разглежда идентифицирането на предавателната функция, а от там и механичните характеристики на линейни динамични системи. Дискутира се идентификация, чрез използване се модифицирания метод на Леви, използването на спектралните характеристики, както и ролята на прозоречните функции и цифровата филтрация.

№29 Представяне на експериментални данни във времева и честотна област получени при работа на междинна втулка в пневмовихрова монтажна глава

Въз основа на спектрален анализ на информация от измервания се извършва идентификация на параметрите на режима на работата междинна

втулка в пневмовихрова монтажна глава и на достоверността на теоретичния му модел.

№30 Моделиране и динамичен анализ на окачването на операторна кабина на ГТЛ в мини „МАРИЦА ИЗТОК II” – Част1 Изграждане на динамичния модел

№31 Моделиране и динамичен анализ на окачването на операторна кабина на ГТЛ в мини „МАРИЦА ИЗТОК II” – Част2 Експериментални и числени изследвания на окачването

В първата част (№30) е изведен динамичния модел на еластично окачената върху платформа операторна кабина. Възбудители на трептения се явяват ударите от земната маса по отбойната дъска, небалансирани ротиращи маси на насочващите ролки, несъосност между осите на задвижващите електродвигатели и редукторите.

Във втората част (№31), чрез обработка на спектъра на данните от измерванията и с използването на създадения в първата част аналитичен модел, се идентифицират масово-инерционните параметри на модела и еластичните характеристики на окачването. Определен е честотния диапазон на въздействията от отделните източници. Оказва се, че някои от тях са с честоти много близки до собствените на еластично-окачената кабина. Дадени са препоръки за подобряване характеристиките на вибрационното поле.

ПУБЛИКАЦИИ – АНАЛИЗ НА НЕЛИНЕЙНИ СИСТЕМИ

Списък на публикациите

№	Заглавие
32	Nikolov S., Genov Ju., Nachev N., 2010, Stability of nonlinear mechanical system with two degrees of freedom, Mechanics, Transport, Communications (E-issue ISSN 1312-3823), Vol.8, №1, art №0472/2010
33	Генов Ю., 2000, Динамичен модел и числен анализ на клас механични системи с приплъзване и едностранни връзки, Шеста интердисциплинарна сесия КОНТАКТ`2000 - доклади, София, ISBN 954-9566-10-2, РИК ТЕМТО, стр.41-46, от 2009 ISSN 1313-9134
34	Дунчев Г., К. Арнаудов, Ю. Генов, 2001, Движение и равновесие на нишка върху цилиндър, Научно-технологична конференция с международно участие "Трибология 2001", 25-26 октомври София, Сборник доклади, ISBN 954-9566-12-9, РИК ТЕМТО, стр.214-217;

№32 Stability of nonlinear mechanical system with two degrees of freedom

Публикацията изследва влиянието на наличието на нелинейна възстановяваща сила върху степента на стабилност на механичната система с две маси. Анализ на въздействието се установява с помощта на критерия на Раут-Хурвиц. Определени са необходимите и достатъчни условия за устойчивост на разглеждания модел. Аналитичните изследвания предполагат, че нелинейния фрагментът на възстановяващата сила е ключовия параметър за

устойчивото поведение на системата. Това се потвърждава и от извършените числени симулации.

№33 Динамичен модел и числен анализ на клас механични системи с приплъзване и едностранни връзки

Разгледана е една стандартна задача, която обаче се решава с отчитане на нехолономността на връзките, като тя може да се проявява в различни комбинации между тях и в различни времеви интервали от движението. Описан е подхода за численото моделиране, даващ възможност да се обхванат всички възможни проявления. В зависимост от съчетанието на характеристиките на системата и началните условия, степените на свобода на системата могат да се изменят от една до четири, като се наблюдава и загуба на устойчивост на положенията за равновесие. Тези ефекти са илюстрирани с числени симулации от които се вижда, че има известно сходство с хаотично поведение. Извършен е анализ на резултатите.

№34 Движение и равновесие на нишка върху цилиндър

Разгледано е движението и равновесието на материална нишка върху неподвижен цилиндър с отчитане на триенето между тях. Получена е пълната система уравнения от която могат да се определят: движението на нишката, нормалната реакция и силата на триене. Тя е съществено нелинейна и изисква числено решение.