

## РЕЗЮМЕТА

на трудовете на д-р инж. Юлиян Николаев Минчев,  
представени за участие в конкурс за заемане на  
академичната длъжност "Доцент" по професионална  
направление 5.5."Транспорт, корабоплаване и  
авиация", спец. "Приложна механика"

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

Выпуск 31, Санкт-Петербург 2008.

2.1. Vibrodiagnostical examinations of turbogenerators by partial models, Стр. 419-423  
Ivaylo Minchev, Yuliyana Mincheva

2.2. Finite element modeling of vibrations, Стр. 427-432  
Ivaylo Minchev, Yuliyana Mincheva

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ

Выпуск 35, Санкт-Петербург 2011

2.3. Researches about possibilities for variation of own frequencies of the system turbine-generator-foundation, Стр. 49-54  
Ivaylo Minchev, Yuliyana Mincheva

2.4. Computer simulation of thermal disbalance of turbo-generators rotors, Стр. 85-89  
Yuliyana Mincheva, Ivaylo Minchev

2.5. Concerning the deformations of steel-concrete foundations of turbo-generators, caused by local thermal influences, Стр. 131-135  
Yuliyana Mincheva, Ivaylo Minchev

2.6. Examinations about the possibilities of change of the partial own frequencies of turbogenerators, Стр. 139-142  
Ivaylo Minchev, Yuliyana Mincheva

Предложен е крайноелементен модел на системата: турбина-генератор-фундамент, който позволява да се определят честотите и формите на свободните трептения на цялата система. Дадени са резултати от пресмятания на честотите и формите на свободните трептения на турбогенератор с мощност 165MW.

Предложен е крайноелементен модел на част от турбина, който дава възможност да се определи парциалната собствена честота на последния лагер на турбината. Теоретичните резултати са потвърдени от експерименти на ЦТКИ-Санкт Петербург и са проведени във връзка с подмяна на генератора.

Предложена е технология за определяне на температурните деформации на стоманобетонни фундаменти на турбогенератори. Моделира се топлинното

въздействие на турбината и паропроводите. Симулира се нарушена термична изолация на турбината и паропроводите. Дадени са конкретни числени резултати, които показват, че температурните въздействия водят до деформации превишаващи допустимите отклонения на центровката.

Предложена е технология за определяне на температурните деформации по валолинията предизвикани от локално температурно въздействие на някои от валовете. Типичен пример е късо съединение в генератора(междувитково късо съединение), което се открива много трудно. На базата на конкретна валолиния е показано как локално температурно въздействие в областта на ротора на генератора може по деформационен път да създаде деформация и дебаланс на ротор високо налягане. Технологията е демонстрирана за валолиния на реален турбогенератор.

Предложена е технология, за изследване на възможностите за промяна на парциалната собствена честота на част от турбината. Идеята се демонстрира върху реална турбина. Показано е, че очевидното техническо решение за укрепване по линия на вертикалното ребро не дава резултат. Оказва се, че коравината на капака на турбината има определящо значение за вертикалната коравина на последния лагер на турбината. Дадено е техническо решение което позволява да се промени съществено собствената честота. Технологията се основава на крайноелементен модел на част от турбината.

Предложена е технология за изследване на възможностите за промяна на собствени честоти на системата турбина-генератор-фундамент чрез симулация на технически решения върху крайноелементен модел на цялата система. Показано е, че промяната на парциалната собствена честота на един лагер не води до съществени промени в собствените честоти на цялата система.

В трудовете №2,1-2,6 се представят резултати от изследвания свързани с решаване на реални проблеми от енергетиката(ТЕЦ Марица изток 2). Съществена част от тези резултати са публикувани в списание „Механика на машините“. Чрез тези публикации се популяризират резултатите в Русия, която е производител на турбини и генератори. Сборниците с доклади се издават от ЦТКИ, които са главен изпълнител при рехабилитация на енергоблок №2 на ТЕЦ Марица изток 2.

### 3.1

Сп. Механика на машините №42 година X, книга 4, 2002, стр. 81-87

Определяне на параметрите на напречната еластична анизотропия на колянвия вал на корабни двигатели.

Н. Н. Минчев, Юлиян Минчев, Ивайло Минчев

Известно е, че колянвия вал притежава еластична анизотропия, която е причина за възбуждане на трептения на корабния корпус при еластична деформация на вала. Тази анизотропия ще оказва влияние както върху напречните трептения на колянвия вал и валопровода, така и върху напречните трептения на двигателя и корабния корпус. Този въпрос все още не е достатъчно изучен. Ето защо в статията е поставена целта да се определят параметрите на напречната еластична анизотропия на колянвия вал. Това е направено на базата на колянвия вал на м/т „Осъм“, който е със седем цилиндричен двигател SULZER RND 92. За да бъдат определени еластичните характеристики на колянвия вал той е моделиран с обемни крайни елементи. Първо е определена напречната коравина на едно коляно, като коляното се завърта на един оборот (от 0о до 360о). Получен е закона за изменение на коравината при развъртане на коляното. Средната стойност на коравината е 1,37.1011N/m, а амплитудата е 0,3295.1011 N/m, като коефициента на неравномерност на коравината е 0,477. При съставяне на механоматематичния модел за изследване на напречните трептения се използват коефициенти на влияние, които в синтезиран вид съдържат информация за напречната еластичност на колянвия вал. Определени са коефициентите на влияние, като за целта е изграден крайноелементен модел с гредови крайни елементи. Получени са коефициентите на влияние във функция от ъгъла на завъртане. Получените резултати дават количествена представа за еластичната анизотропия на колянвия вал и представляват основа за изследване на напречните трептения на колянвия вал и валолинията.

3.2.

Сп. Механика на машините №42 година X, книга 4, 2002, стр. 88-100

Напречни трептения на корабен валопровод и корабен двигател с отчитане на еластичната анизотропия на колянвия вал

Николай. Н. Минчев, Юлиян Минчев, Ивайло Минчев

Изследвано е влиянието на промяната на напречната коравина на колянвия вал при неговата ротация, върху свободните трептения на колянвия вал и валопровода. За целта е създаден крайноелементен модел на валолинията на м/т „Осъм“. Пресмятанията са извършени при максимална коравина на коляното  $C_{\max} = 1,709 \cdot 10^{11} N/m$  и при минимална коравина  $1,05 \cdot 10^{11} N/m$ . Дадени са резултатите за изчислените четиридесет собствени честоти и форми на трептения. Достига се до извода, че спектрите на свободните трептения се различават несъществено.

За изучаване на влиянието на променливата напречна коравина на колянвия вал е съставен дискретен механоматематически модел.

За илюстрация са разгледани трептенията на едно коляно с отчитане на променливата напречна коравина. Дадени са резултати от компютърна симулация на трептенията възбудени само от променливата коравина. Трептенията са с честота  $2\omega$  и могат да бъдат съществени както за корабния корпус, така и за главния двигател. Прави се извода, че при изследване на трептенията на главния двигател следва да се отчете променливата коравина като възбудител на трептения.

3.3.

Сп. Механика на машините №49 година XI, книга 5, 2003, стр. 165-171

Механоматематическо моделиране на напречните трептения на корабен валопровод с отчитане на еластичната анизотропия на колянвия вал.

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев, Николай. Н. Минчев

Предложен е механоматематичен модел на напречните трептения на корабния валопровод с отчитане на еластичната анизотропия на колянвия вал. За целта се ползва дискретен модел. Колянвия вал се моделира като права греда. Еластичните свойства се дефинират от коефициентите на влияние, които се определят с отчитане на еластичната анизотропия на базата на крайноелементен модел на валолинията, Коефициентите на влияние се получават като функция от ъгъла на завъртане на колянвия вал. Извършена е линейна трансформация на променливите на основата на пресметнати форми на свободните трептения при условие, че липсва анизотропия на колянвия вал. Характерно за новополучената система е, че уравненията са слабо свързани. В околността на резонанса се достига до едно уравнение.

При разглеждане на трептенията възбудени само от еластичната анизотропия на колянвия вал се достига до уравнение на Матьо.

Изложената теория е демонстрирана с числен пример, разглеждайки огъващите трептения възбудени от еластичната анизотропия на колянвия вал на двигател ZULZER 7RND92. Това е главен двигател на м/т „Осъм“. Резултатите от компютърната симулация показват, че променливата коравина възбужда трептения с честота  $2\omega$ . Следователно ефекта от отчитане на влиянието на напречната еластична анизотропия на колянвия вал следва да се очаква във възможността да се възбудят допълнително нискочестотни трептения с честота  $2\omega$ , които могат да бъдат съществени както за корабния корпус, така и за главния двигател.

3.4.

Сп. Механика на машините №53 година XII, книга 4, 2004г. Стр. 182-184.

Относно корекцията на крачката на гребни винтове чрез торзионна деформация на лопатките.

Н. Д. Минчев, Юлиян Минчев

При експлоатация на корабните силови уредби се среща случай при който главния двигател не може да достигне номиналните си обороти, поради механично топлинно претоварване. Причина е „тежкия” гребен винт. Изход от това положение е „олекотяване” на гребния винт. Когато гребния винт е в дюза, за „олекотяване” на винта е необходимо да се промени крачката на винта. В статията се изследва възможността за корекция на крачката на винта чрез механично усукване на лопатките. Изследването е извършено на базата на конкретен случай. След пресмятане е установено, че при приемане на 5%експлоатационен запас по мощност е необходимо да се намали крачката с 6.4%. Тази корекция може да се постигне чрез деформация на лопатките посредством усукването им. Естествено възниква въпроса физически реализуемо ли е това, както по отношение на сили, които трябва да се приложат , така и по отношение на напреженията, които биха се получили при тези деформации. Т.е трябва да се оцени дали лопатките не биха се разрушили при реализиране на необходимото усукване за корекция на крачката. За да се даде отговор на въпроса е извършено пресмятане по метода на крайните елементи чрез програмата ALGOR. Приложени са равни по големина и противоположни по посока сили с големина 30 KN на входящия и изходящия ръб на лопатката на разстояние 0,7 от радиуса на винта, като усието намалява към оста на лопатката по линеен закон до нула. В двата края лопатката се деформира 12mm. Максималното напрежение е 200 МРа и е под границата на провлачване. Лопатките се нагрява до 500° С и се оставя 12 часа в деформирано състояние. Пресмятанията доказват,че е възможно да се промени крачката на винта чрез усукване на лопатките. Идеята е реализирана за конкретни гребни винтове чрез специално конструиран стенд.

Една особеност при динамичните пресмятания на промишлени сгради

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

Много често на високи етажи в промишлените сгради се монтират ротационни машини. Обикновено това са промишлени вентилатори, които достигат до мощност 1000kW. Поради тази причина етажните плочи, на които се монтират тези промишлени вентилатори следва да бъдат така конструирани, че да се избегнат резонанси с честотата на въртене. Понякога обаче освен възбудителите на трептения с обратна честота вследствие на неизправности в машините могат да се генерират трептения с честота два пъти честотата на въртене и три пъти честота на въртене. Това налага да се вземат предварително мерки за избягване на резонанси с тези честоти. За целта се налага да се изследват собствените честоти на етажните плочи до честоти надхвърлящи три пъти честотата на въртене  $\omega$  и се вземат мерки за избягване на резонанси с честоти  $2\omega$  и  $3\omega$ , ако в процеса на експлоатация се появят неизправности генериращи такива трептения. Обект на изследването е промишлен вентилатор монтиран на рама, която е окачена на пружини. Експериментално са установени трептенията с честота  $2\omega$  и  $3\omega$ , породени от несъосност. Чрез пресмятане с крайноелементен модел на рамата е установено, че рамата се усуква от предавания въртящ момент, което довежда до несъосност на валове на електродвигателя и вентилатора. Така се доказва наличието на възбудител на трептения с честота  $2\omega$  и  $3\omega$ , въпреки прецизната центровка. За изясняване на причините за високото ниво на полихармонични трептения на етажната плоча е извършено динамично изследване чрез крайноелементен модел. Установени са резонанси с обратната честота и честоти  $2\omega$  и  $3\omega$ . Предложени са мерки за минимизиране на възбудителите на трептения чрез промяна на конструкцията на рамата.

Разгледания случай потвърждава необходимостта от динамични изследвания на промишлени сгради в честотния диапазон превишаващ два пъти честотата на въртене.



3.6.

Сп. Механика на машините №59 година XIII, книга 5 , 2005г. Стр. 181-189.

Относно необходимостта от съвместни динамични пресмятания на промишлени сгради и монтираните в тях машини

Юлиян Минчев, Ивайло Минчев

Машините монтирани на високи етажи нямат масивни фундаменти, а се монтират чрез еластични връзки(винтови пружини или гумени тампони) към сградите за да се минимизират предаваните на сградата трептения. Параметрите на еластичното окачване се пресмятат, като се приема, че машините са монтирани на абсолютно твърда основа. Последното в много случаи не е вярно, доколкото етажните плочи имат честоти на свободни трептения в работния диапазон на машините. Това естествено става причина за възбуждане на трептения на сградите. Това налага при динамичните изследвания на еластично монтирани машини, монтирани на високи етажи да се отчита и влиянието на масовите и еластични характеристики на етажните плочи. За тази цел на базата на конкретен пример(промишлен вентилатор монтиран на рама, която е окачена на пружини) е съставен крайноелементен модел на системата: вентилатор-рама-пружини-етажна плоча. Плочата се моделира с обемни крайни елементи, а рамата на вентилатора с гредови крайни елементи. Пресметнати са собствените честоти. От резултатите се вижда, че при трите основни честоти  $\omega = 25\text{Hz}$ ,  $2\omega$  и  $3\omega$ , съответстващи на честотите на възбуждане на трептения се групират по няколко близки собствени честоти с форми произтичащи от трептенията на рамата и плочата. Това обуславя интензивния обмен на вибрационна енергия между рамата и плочата, Този факт обуславя необходимостта от съвместно моделиране на машините и етажните плочи при динамични изследвания на машините.

3.7.

Сп. Механика на машините №66 година XIV, книга 5, 2006г. Стр. 147-151.

Относно трептенията на зъбната предавка задвижваща барабанни въртящи се пеци.

Н. Н. Минчев, Ивайло Минчев, Юлиан Минчев, Н. Тризлова

Обект на изследване са трептенията в зъбната предавка на барабанна въртяща се пещ възбудени от не успоредност на осите на голото зъбно колело и задвижващите колела. Изследванията са проведени върху циментова мелница, лагерувана в двата края. Мелницата извършва ротация с 14.3 грм задвижвана от две зъбни колела с диаметри 790,57mm и 26 зъба. Голямото зъбно колело е с диаметър 6689,43mm и 220зъба. Ширината на зъбния венец е 750mm, а модула 30mm. Повод за изследването са високите нива на вибрации на лагерите на двата задвижващи вала. Представени са експериментално получените спектри на трептенията, които дават основание да се предполага, че осите на зъбните колела не са успоредни. Този възбудител на трептения е недостатъчно добре изучен. За откриване на причината за нарушаване на успоредността на осите в процеса на експлоатация е направен крайноелементен модел на пещта. Установено е, деформираното състояние на пещта следствие на технологичния товар, при което е получен наклона на голямото зъбно колело. Различията в спектрите на двата задвижващи вала се обясняват с различното положение на двата вала спрямо голямото зъбно колело. Получената деформационна картина дава основание да формулира извода, че за минимизиране на трептенията на зъбната предавка центровката трябва да се прави в натоварено състояние. При конструирането на такива пеци е целесъобразно задвижването да се реализира в хоризонталната равнина.

3.8.

Сп. Механика на машините №76 година XVI, книга 4, 2008г. Стр. 31-35.

Относно влиянието на еластичността на лагерните опори върху честотите на напречните трептения на ротори.

Николай. Н. Минчев, Ивайло Минчев, Юлиян Минчев

Повод за изследванията е изработването на нов ротор за центробежен компресор за  $CO_2$  с мощност 5700kW, производство на Brown-Boveri-Sulzer. Изработения ротор е точно копие на оригиналния. При изпитанието на ротора на свръх обороти на стенд се установяват резонанс при 2700rpm(45Hz). Чрез крайноелементен модел са определени честотите на огъващите трептения:  $f_1 = 54,65Hz$ ,  $f_2 = 165Hz$ ,  $f_3 = 325Hz$ . Резултата е получен при коравина на лагерите  $1 \cdot 10^9 N/m$ . Този резултат съвпада с фирмените данни за критични обороти и с експериментите на авторите. Получения експериментално резонанс при 45Hz възбужда сериозно безпокойство, т.к с появата на пукнатини собствената честота намалява. Оказа се, че коравината на лагерните стойки на стенда е  $3 \cdot 10^8 N/m$ . След задаване на тази коравина се получават следните честоти на свободните трептения:  $f_1 = 45,2Hz$ ,  $f_2 = 142,2Hz$ ,  $f_3 = 279Hz$ , които съвпадат с експериментално установените на стенда.

Получените резултати показват същественото влияние на еластичността на лагерните опори при установяване на критичните обороти на стенд. Този факт е особено важен при балансиране на роторите на стенд на работни обороти. Голямата разлика в коравините на опорите на стенда и реалната машина, както бе установено определя голяма разлика в критичните обороти. Балансираня на стенд ротор на работни обороти може да се окаже не добре балансиран след монтажа му в реалната машина поради различните критични обороти. При балансиране на еластични ротори се компенсират и инерционните сили от огъващите трептения, които за един и същ ротор при работните обороти ще бъдат различни на стенда и на реалната машина. Това е в следствие на различната отдалеченост на критичните от работните обороти.

3.9.

Сп. Механика на машините №76 година XVI, книга 4, 2008г. Стр. 107-112

Динамични изследвания на фундаментите на турбогенератори

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

При определяне на спектъра на свободните трептения на фундаментите на турбогенераторите, турбината, генератора и валолинията участват като абсолютно твърди тела(само с масите си). Установено е, че еластичността на фундамента оказва съществено влияние върху честотите на свободните трептения на валолинията, т.е върху критичните обороти. Естествено е да се очаква, че и валолинията ще оказва съществено влияние върху честотните характеристика на фундамента. Ето защо в статията се предлага динамичните изследвания на фундаментите да се извършват с отчитане на еластичността на валолинията, а не само с отчитане на масовите характеристики. Освен това се предлага при динамичните пресмятания на фундаментите да се ползват обемни крайни елементи, а не гредови, както се прави.

За конкретен турбогенератор с мощност 165MW е показан крайноелементния модел: фундамент – валолиния и получените честоти на свободните трептения. Показаната скоростна характеристика, снета при пускане на турбината доказва високата точност на получените резултати по теоретичен път и чрез прилагане на метода на крайните елементи. На базата на конкретен турбогенератор се илюстрира идеята за отчитане на еластичността на валолинията при динамични изследвания на фундаментите. Решението на тази сложна задача изисква големи изчислителни ресурси, което при съвременното ниво на компютърната техника не е проблем.

3.10.

Сп. Механика на машините №78 година XVI, книга 6, 2008г. Стр. 123-126

Изследвания относно възможностите за промяна на парциални собствени честоти на турбогенератори

Ивайло Минчев, Юлиян Минчев

Проведеното изследване във връзка с реконструкцията на конкретен турбоагрегат дефинира един подход чрез който създавайки крайноелементни модели на части от турбината могат да се проверят различни варианти на технически решения, водещи до отдалечаване на парциалните собствени честоти от честотите на възбудителите на трептения.

Конкретните пресмятания се извършвани за турбогенератор с мощност 165MW, за който по теоретичен и експериментален път е установен резонанс на вертикалните трептения на трети лагер(последния лагер на турбината)

В статията се дават резултати от търсенето на конструктивно решение за „загрубяване“ на парциалната система чрез отдалечаване на резонансите от работната честота. Изследвани са много варианти насочени към вертикалното ребро под конзолната опора на лагера, които не дават резултат. Дадени са резултати за едно техническо решение, което води до съществена промяна на собствената честота на лагер №3

3.11.

Сп. Механика на машините №78 година XVI, книга 6, 2008г. Стр. 127-132

Изследвания относно възможностите за промяна на собствените честоти на системата турбина-генератор-фундамент

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

В статията се изследва влиянието на променена парциална собствена честота на един лагер върху честотите на свободните трептения на цялата система турбина-генератор-фундамент.

Изследването е извършено върху турбина К-165-130-2 с генератор TOSHIBA за която е установено, по теоретичен и експериментален път, че парциалната собствена честота на вертикалните трептения на трети (последен) за турбината лагер е около 50Hz.

Чрез предложения крайноелементен модел на системата турбина-генератор-фундамент е установено, че промяната на парциалната собствена честота на трети лагер практически не влияе върху спектъра на свободните трептения на цялата система. Числено е експериментирано подсилване на фундамента чрез диагонални и хоризонтални връзки. Експериментирана е и промяна на собствените честоти на фундамента чрез позициониране на голяма маса след възбудителя.

Достига се до извода, че промяната на собствената честота на един лагер от валолинията на турбогенератор не оказва съществено влияние на спектъра на свободните трептения на системата турбина-генератор-фундамент. Този спектър зависи основно от масовите и еластични характеристики на фундамента.

3.12.

Сп. Механика на машините №79 година XVI, книга7, 2008г. Стр. 104-114

Теоретично и експериментално изследване на турбогенератори.

Тодор Хуклев, Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

Демонстрирана е една възможност за експериментално определяне на формите на трептения на турбогенератори. За целта е необходимо на всеки лагер да се монтират по два датчика за относителни трептения, на  $90^\circ$  един от друг. Съединявайки точките съответстващи на моментното положение на центровете на шийките за всеки лагер ще се получи формата на трептения на валолинията. Сравнени са получените експериментално форми на релативните трептения с теоретично получените действителни форми на трептения. Теоретичните форми са получени чрез пресмятания по метода на крайните елементи на системата валолиния-фундамент.

Показаните теоретични и експериментални резултати демонстрират много добро съвпадение на теоретичното получените честоти и форми на свободните трептения с експериментално установените релативни форми на трептения при съответните честоти. Това дава основание да се твърди, че:

1. Получените по теоретичен път честоти и форми на свободните трептения на системата турбогенератор-фундамент чрез комплексен модел построен по метода на крайните елементи имат много добро съвпадение с експерименталните резултати.
2. Получените по експериментален път форми на релативните трептения на валолинията чрез използване на датчици за относително преместване дават много добра представа за формите на трептения.

Второто твърдение дава основание да считаме, че експериментално получените форми на релативните трептения могат да бъдат успешно използвани за нуждите на вибродиагностиката и при балансиране в собствени лагери за предварителна оценка на успеха от прилагане на процедурата за балансиране

3.13.

Сп. Механика на машините №80 година XVII, книга1, 2009г. Стр. 101-105

Използване на скоростните характеристики и форми на трептения при локализиране на дебаланс на турбоагрегати

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

Много често при пускане в експлоатация на турбогенераторите след основен ремонт или рехабилитация се наблюдават интензивни вибрации. Естествено възниква въпроса за идентифициране на възбудителите на трептения. Отговор се търси със средствата на вибродиагностиката. В такива случаи се снемат скоростните характеристики, представляващи зависимости между амплитудата и фазата на трептенията от честотата на въртене  $\omega$ .

В статията са дадени скоростните характеристики получени при пускане и спиране на турбогенератор К-165-130-2 с мощност 165MW. Резултатите са съпоставени с теоретично получените от авторите по метода на крайните елементи. Съпоставка на теоретичните и експерименталните резултати дава една много добро съвпадане.

Анализирайки експерименталните резултати естествено възниква въпроса защо резонансите са с различна сила. Отговор е даден след анализ на диференциалните уравнения описващи напречните трептения на вала. Интензивността на резонансните трептения зависи от големината на възбудителя на трептения и стойността на формите на трептения за приложните точки на силите възбуждащи трептения. Изхождайки от този факт се стига до извода, че съвместния анализ на скоростните характеристики и фирмите на трептения може да даде информация за дислокацията на дебаланса. За целта е необходимо да се вземат формите на трептения съответстващи на силните (ярко изразени) резонанси и се деформират областите на големи стойности на формите като най-вероятни области на разположение на дебаланса.



3.14.

Сп. Механика на машините №81 година XVII, книга2, 2009г. Стр. 98-102

Механоматематическо моделиране и компютърна симулация на трептенията на еластичен ротор, възбудени от трептенията на фундамента

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

Работата е посветена на изучаване на проблема за трептенията на еластични ротори, възбудени от трептенията на фундамента с отчитане на динамичната връзка между трептенията на ротора, трептенията на опорите и въртеливото движение. За целта е предложен механоматематичен модел чрез който е извършена компютърна симулация на трептенията на еластичен ротор, възбудени от трептенията на фундамента.

Установено е, че кинематично възбуждане от втори порядък възбужда трептения на лагерите от втори, четвърти и шести порядък, като трептенията от четвърти порядък са съизмерими с трептения от втори порядък. Експериментално получен спектър от този вид би насочил към трептения възбудени от несъосност. При трептения на фундамента от трети порядък, трептенията на лагерите са от първи, трети, пети и седми порядък, като доминиращи са трептенията от трети и пети порядък.

Резултатите от компютърна симулация дават основание да се направи извода, че кинематичното възбуждане породено от вибрации на фундамента от  $K$ -порядък възбужда трептения на опорите(лагерите) освен от  $K$  порядък и трептения с  $K-2$  и  $K+2$  порядък, както и трептения на самия ротор с  $K-1$  и  $K+1$  порядък.

3.15.

Сп. Механика на машините №82 година XVII, книга3, 2009г. Стр. 101-110

Относно трептенията на високо оборотни главни корабни двигатели

Юлиан Минчев, Ивайло Минчев

Представени са резултати от компютърна симулация и от експеримент в реални условия, доказващи необходимостта от отчитане на динамичната връзка между усукващи и общи трептения при регламентирани задължителни пресмятания на усукващите трептения на високооборотни главни корабни дизелови двигатели, както и при пресмятане на общите трептения. Получените резултати от компютърната симулация на динамичната връзка между усукващи и общи трептения при наличието на възбудител само на усукващи трептения показва голямото разнообразие в спектъра на възбудените усукващи и общи трептения в зависимост от близостта на парциалните собствени честоти до честотата на възбудителя на усукващи трептения. Показаните експериментални резултати относно общите трептения доказват голямата качествена и количествена разлика в трептенията на двигателя следствие на динамичната връзка между усукващите и общите трептения. В случая двигателя е напълно уравновесен и наблюдаваните вибрационни явления не би следвало да съществуват ако общите трептения се изучават самостоятелно, без отчитане на динамичната им връзка с усукващите трептения.

Доказва се, че при една статично уравновесена като цяло машина(двигател), динамичната връзка между усукващите и общите трептения ще зависи от формата на свободните усукващи трептения.

3.16.

Сп. Механика на машините №84 година XVII, книга 5, 2009г. Стр. 57-61

Относно деформациите на стоманобетонни фундаменти на турбогенератори, предизвикани от локални топлинни въздействия

Юлиян Минчев, Ивайло Минчев

Статията е посветена на проблема за пресмятане на деформациите на стоманобетонни фундаменти подложени на локални температурни въздействия. За целта е използван метода на крайните елементи за моделиране на стоманобетонния фундамент. Температурните въздействия са предварително известни. Идеята е демонстрирана върху стоманобетонен фундамент на турбогенератор с мощност 165 MW, Определено е температурната деформация на фундамента следствие на контакта на турбината с фундамента. Установено е, че деформациите на фундамента променят позициите на лагерите със стойности превишаващи допустимата радиална несъосност. Определена е температурната деформация на фундамента следствие на топлинното въздействие на паропровода. Промяната на позициите на лагерите превишава допустимата несъосност. Моделирано е влиянието на нарушена топлинна изолация на паропровода. От резултатите се вижда, че стола на втори лагер освен, че се повдига, но и се наклонява(получава се диферент). Не отчитането на този факт ще доведе до недобро прилягане на черупките на лагера към вала. Появата на диферент на стола на лагера, като резултат от температурните деформации на фундамента не може да бъде установено чрез прилаганите методи за измерване на топлинните деформации.

Предложения подход за определяне на деформациите на стоманобетонни фундаменти на турбогенератори дава възможност още в етапа на проектиране да се прогнозира такава центровка на валолинията при, която ще бъдат минимизирани топлинните въздействия върху центровката водещи до възбуждане на интензивни трептения при експлоатационни условия.

3.17.

Сп. Механика на машините №84 година XVII, книга 5, 2009г. Стр. 62-66

### Компютърна симулация на топлинен дебаланс на ротори на турбогенератори

Юлиан Минчев, Ивайло Минчев

Обект на внимание е топлинния дебаланс, който се появява понякога при работа на турбогенераторите. Топлинното разбалансиране е резултат от топлинни деформации на роторите предизвикани от неравномерно нагряване или охлаждане по напречното сечение. Общоизвестна причина за неравномерно нагряване на роторите на генераторите е късо съединение между навивките. Топлинен дебаланс е неизправност, която трудно се диагностира. Обикновено се коментира въпроса за топлинен дебаланс само на ротор на генератора или само на ротор на турбината. Тези ротори, обаче са в състава на валолинията и не е ясно как влияят останалите ротори на топлинното разбалансиране. В статията се прави опит да се отговори на този въпрос. За целта се симулират топлинни въздействия върху отделни ротори от състава на конкретна валолиния на турбоагрегат с мощност 165MW. Компютърната симулация е извършена чрез моделиране по метода на крайните елементи. Зададена е температурна асиметрия в ротора на генератора в размер на 1°C по цялата дължина на ротора по ивица, отговаряща на ширината на големия зъб. Установено, е че температурната деформация на ротора на генератора оказва влияние на цялата валолиния, създавайки деформации, а следователно и дебаланс.

Симулирано е и топлинно въздействие от 10°C по ротор средно и ротор високо налягане. Температурното въздействие е зададено по вала между дисковете. И в двата случая температурната деформация на един ротор води до деформация на цялата валолиния и генерира дебаланс и на другите ротори. Това е важен резултат, т.к. се приема, че ротора с топлинен дебаланс възбужда трептения на собствените си лагери. Получените резултати показват, че ротора с топлинен дебаланс може по деформационен път да създаде дебаланс и на други ротори от валолинията.

3.18.

Сп. Механика на машините №84 година XVII, книга 5, 2009г. Стр. 67-70

Идентифициране на несъсност във валолинията на турбогенератори, предизвикано от топлинни деформации на стоманобетонни фундаменти.

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

Центровката се осъществява в студено състояние. Известно е, че в процеса на експлоатация центровката се променя вследствие на топлинните деформации на стоманобетонните фундаменти. Този факт се отчита при центровката в студено състояние. Големината и мястото на термичната разцентровка по дължина на валолинията не са постоянни и зависят от режима на работа. На практика винаги има несъсност по валолинията. Идентифицирането на тази несъсност е едно от задачите на вибродиагностиката. В статията се предлага технология за идентифициране на несъсност чрез методите на вибродиагностиката при която съществува възможност и за количествена оценка на разцентровката. Това е възможно, ако турбогенератора е оборудван с датчици за относителни трептения. Посредством датчиците за относително преместване се определя разположението на оста на вала за всички лагери. Положението на оста може да се проследи от 0 до 3000grm. Показани са експериментални резултати за турбоагрегат с мощност 200MW от които се вижда повдигането на оста на шийката на всеки лагер. Измерват се и абсолютните вибрации на лагерите, като се прави спектрален анализ чрез съпоставяне на резултатите от двата вида измервания:

- на относителните трептения, даващи информация и за разположението на оста на вала;
  - на абсолютните трептения, даващи информация за спектъра на трептения;
- става възможно с по-голяма достоверност да се идентифицира несъсност по валолинията в процеса на експлоатация.

3.19.

Сп. Механика на машините №84 година XVII, книга 5, 2009г. Стр. 71-73

Относно трептенията на системата: вибрационно сито-етжна плоча от промишлена сграда

Юлиян Минчев, Ивайло Минчев

Вибрационните сита са много разпространени съоръжения в химическите заводи и предприятията за добив на варовик. Имат висока производителност(десетки стотици) тона за час и работят с големи амплитуди(4-5 мм). При тези параметри те представляват голям възбудител на трептения. Обект на внимание в статията са ситата монтирани в промишлени сгради на голяма височина. Целта на работата е да се изследват възможностите за минимизиране на трептенията на етажни плочи с монтирани върху тях вибрационни сита. Обект на изследванията е вибрационно сито Binder, монтирано върху бетонна плоча на височина 24м в промишлена сграда на кариера за добив на варовик. Извършено е моделиране на етажната плоча заедно със ситото и питателя по метода на крайните елементи. Оказва, се че най-ниската собствена честота е много близо да честотата на ситото, т.е. налице е резонанс. Неблагоприятен момент при монтажа на вибрационни сита е необходимостта от отвор под ситото. Експериментирано е вкоравяване на плочата посредством оребряване на долната страна на плочата. Постигнато е отдалечаване от резонанса, което дава основание да се очаква по ниски вибрации. Оребряването е предвидено с метални двойно „Т” образни греди, които се поставят след повдигането на плочата с хидравлични крикове. Изследвана е и възможността за монтиране на динамични гасители на петите в ниския край на ситото. Конкретния случай дава основание да се направят общи изводи за проблемите които възникват при монтиране на вибрационни сита:

- Необходимо е да се определи собствената честота на плочата със сито, като се изследват възможностите за избягване на резонанси посредством оребряване с метални греди.
- Желателно се да се проектират динамични гасители, монтирани към лапите на ситото.

3.20.

Сп. Механика на машините №85 година XVIII, книга 1, 2010г. Стр. 88-94

Относно влиянието на анизотропията на опорите върху трептенията на еластичен ротор с дебаланс

Николай Д. Минчев, Николай Н. Минчев, Юлиан Минчев, Ивайло Минчев

При вибродиагностика обикновено се измерват трептенията на лагерите. Тези трептения зависят от коравините на лагерните опори. В общия случай хоризонталната и вертикалната коравини могат да се различават съществено, т.е. налице е еластична анизотропия. В статията е изследвано влиянието на анизотропията на опорите върху спектъра на трептенията на еластичен ротор с дебаланс. Предложен е механоматематичен модел при който се отчита динамичната връзка между трептенията на опорите и еластичния вал, като се отчита анизотропията на опорите. Чрез аналитично решение се достига до извода, че анизотропията на опорите поражда трептения на еластичния ротор с честота  $2\omega$  и  $4\omega$ . Когато опорите са изотропни ротора не трепти. Следователно широко разпространеното твърдение, че еластичния ротор при дебаланс извършва само прецесия с честота  $\omega$  и не трепти е вярно само при изотропни опори. При наличие на анизотропия на опорите по инерционен път трептенията на опорите възбуждат трептения прецесиращи ротор. При голяма анизотропия в едното направление може да доминира хармоника с обратна честота, а в другото направление да има голям трети хармоник. За да се добие по-добра представа за поведението на еластичен ротор при условията на динамично взаимодействие с трептенията на анизотропните лагерни опори е извършена компютърна симулация, която потвърждава получените по аналитичен път резултати.

Дадени са експериментални резултати доказващи верността на теоретичните резултати.

3.21.

Сп. Механика на машините №86 година XVIII, книга 2, 2010г. Стр. 78-85

Относно влиянието на анизотропията на опорите върху трептенията на ротор при несъосност

Николай Д. Минчев, Николай Н. Минчев, Ивайло Минчев, Юлиян Минчев

Изследвано е влиянието на анизотропията на опорите върху трептенията на еластичен ротор при несъосност. Разглежда се случая на принудително центрован ротор с несъвършенства в монтажа (налице е радиална или ъглова несъосност), както и случая на допълнително възникнала несъосност вследствие на еластична деформация на корпуса на машината или асиметрия в разширението на парни турбини. За нуждите на изследването се ползва най-простия модел на еластичен ротор при който се отчита динамичната връзка между трептенията на опорите и трептенията на ротора.

Чрез аналитично решение на диференциалните уравнения е установено, че анизотропията на опорите поражда трептения на еластичния ротор с честота  $3\omega$ . Трептенията на еластичния ротор по инерционен път възбуждат трептения на опорите с честота два пъти по-голяма от честотата на въртене.

При едно по-добро приближено решение се установява, че освен втори хармоник в спектъра на трептенията на опорите се възбуждат и трептения с четвърти хармоник. При съществена анизотропия може да се стигне до ситуация при която в едното направление доминира втори хармоник, а в другото направление-четвърти хармоник.

За онагледяване на резултатите е извършена компютърна симулация. Дадени са резултати от експериментални изследвания на вакуум помпи абсорбция проведени в заводски условия. Резултатите от експеримента потвърждават напълно теоретичните резултати.



3.22.

Сп. Механика на машините №86 година XVIII, книга 2, 2010г. Стр. 86-88

Относно възбуждането на нискочестотни трептения в турбогенератори

Николай Н. Минчев, Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

В статията се прави опит да се даде един друг механизъм за възбуждане на нискочестотни трептения при наличие на възбудител с обратна честота. Ефекта се дължи на нелинейните еластични свойства на масления клин. На основата на аналитично решение е установено условието за възбуждане на нискочестотни трептения. Извършената компютърна симулация доказва възможността за възникване на нискочестотни трептения при наличие на възбуждане с обратна честота. Ефекта се дължи на нелинейните еластични свойства на масления клин. Дадени са експериментални резултати от изследване на трептенията на турбогенератор с мощност 220MW.

3.23.

Сп. Механика на машините №86 година XVIII, книга 2, 2010г. Стр. 89-95

Относно субхармоничните трептения на ротор с търкалящи лагери

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев, Николай Н. Минчев

Предложен е механоматематичен модел при който се отчита динамичната връзка между трептенията на опорите и еластичен вал, като се отчитат нелинейните еластични свойства на търкалящите лагери. След аналитично решение на диференциалните уравнение се достига до извода, че неуравновесените инерционни сили на ротор с търкалящи лагери могат да възбудят нискочестотни(субхармонични) трептения на опорите с честота  $\frac{1}{2}\omega$  или  $\frac{1}{3}\omega$ . Следствие на динамичната връзка между трептенията на опорите и трептенията на еластичния ротор се възбудят и трептения с честоти  $\frac{3}{2}\omega$ ,  $\frac{5}{2}\omega$  или  $\frac{4}{3}\omega$ ,  $\frac{7}{3}\omega$ . Субхармоничните трептения се възбудят от дебаланса следствие на нелинейната еластичност. Те имат резонансен характер и съществуват в тясна честотна област, чиито граници са определени. Субхармоничните трептения възникват близо до скоростта на ротора равна на удвоената или утроената критична скорост. Самовъзбуждащите се трептения с честота  $\frac{1}{2}\omega$  имат не резонансен характер и съществуват в широк честотен диапазон. Субхармоничните трептения от гледна точка на интензивност отстъпват на самовъзбуждащите се трептения. За онагледяване на резултатите е извършена компютърна симулация. Дадени са резултати от експериментални изследвания на промишлен вентилатор. Налице е хармоник с честота  $\frac{1}{2}\omega$ , който има амплитуда съизмерима с амплитудата на хармоника с обратна честота. В случая лагерите са търкалящи и няма възбудител на трептения с честота  $\frac{1}{2}\omega$ . Следователно произхода на тези трептения може да бъде само нелинейността на лагерните опори с търкалящи лагери. След конструктивна промяна трептенията изчезват, което потвърждава хипотезата за субхармоничен резонанс.

3.24.

Сп. Механика на машините №87 година XVIII, книга3, 2010г. Стр. 93-96

Влияние на еластичната асиметрия на опорите върху вибрационното състояние

Николай Н. Минчев, Юлиян Минчев, Ивайло Минчев

При недобро закрепване на лагерните тела към фундамента се получава несиметрично намаляване на коравината.

Доказва се, че еластичната асиметрия на опорите води до възбуждане на трептения с втори хармоник, чиято амплитуда зависи от големината на възбуждащата трептения сила с обратна честота, т.е. с изменение на амплитудата на първи хармоник се изменя и амплитудата на втори хармоник. Ако възбудителя на трептения е дебаланс, то амплитудата на втория хармоник ще зависи от големината на центробежната сила, т.е. от дебаланса. Това е много съществено, т.к. обикновено наличието на втори хармоник в спектъра на трептенията се счита за индикация на несъосност. Големината на втория хармоник възбуден от несъосност, обаче зависи от товара(предавания момент).

Получения ефект позволява да се открие несиметричното отслабване на коравината по резултата от измерване на втори хармоник в процеса на балансиране на роторите. Ако в процеса на балансиране амплитудата на втория хармоник се изменя с амплитудата на първи, то е налице асиметрия в коравината на опорите.

Резултатите са получени чрез компютърна симулация. В потвърждение на теоретичните резултати са дадени експериментални резултати.

3.25.

Сп. Механика на машините №90 година XVIII, книга 6, 2010г. Стр. 74-82

Субхармонични трептения на зъбни предавки с търкалящи лагери

Юлиан Минчев, Ивайло Минчев

Обект на изследване са трептенията възбудени в зъбна предавка от променливата коравина на зъбното задвижване при наличие на нелинейни еластични свойства на опорите с търкалящи лагери.

Чрез аналитично решение на системата диференциални уравнения описващи трептенията на зъбната предавка са получени условията за възбуждане на субхармонични трептения с честота  $\frac{1}{2}z\omega$ ,  $\frac{1}{3}z\omega$  и  $\frac{2}{3}z\omega$ .

Теоретичните резултати са потвърдени от експерименти проведени в заводски условия с четири типа машини: турбокомпресор за  $CO_2$ , вакуум помпа филтрация, вакуум помпа абсорбция и компресор за въздух К-250. Дадени са спектри на трептенията на които ясно се виждат трептенията с честоти  $\frac{1}{2}z\omega$ ,  $\frac{1}{3}z\omega$ ,  $\frac{2}{3}z\omega$ . Показаните експериментални резултати доказват възможността за възбуждане на субхармонични трептения с честота  $\frac{1}{2}z\omega$ ,  $\frac{1}{3}z\omega$  и  $\frac{2}{3}z\omega$  при работа на зъбни предавки с търкалящи лагери. Трептенията са следствие на нелинейните еластични свойства на лагерите.

3.26.

Сп. Механика на машините №90 година XVIII, книга 6, 2010г. Стр. 83-88

Относно принудените трептения в зъбни предавки

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

Основен възбудител на трептения в зъбните предавки е променливата коравина в зъбното зацепване. Тези трептения имат параметричен характер, доколкото се описват с диференциални уравнения с променливи коефициенти, представляващи периодични функции. Променливата коравина в зъбното сцепване възбужда два вида параметрични трептения:

1. Трептения със зъбна честота  $z\omega$  и кратни на нея
2. Трептения с честота  $\frac{1}{2}z\omega$  и кратни на нея

Тези трептения съществуват в зоната на съответния параметричен резонанс. Експерименталните изследвания, обаче показват, че трептенията със зъбна честота и кратни на нея съпътстват работата на всяка предавка. Ето защо в статията се обръща внимание на възбуждането на трептения със зъбна честота от силата в зъбното зацепване, която се дължи на периодичното изместване на равновесното положение на двучифтното и едно чифтно зацепване в рамките на един период. Дори и при абсолютно точно изработени зъбни колела тази сила съществува. Силата е хармонична с честота  $z\omega$ .

След аналитично решение на диференциалните уравнения се установява, че силата в зъбното зацепване възбужда трептения с честоти  $z\omega$ ,  $2z\omega$ ,  $3z\omega$ , .... Тези трептения съществуват винаги (в целия честотен диапазон), а не само в зоната на параметричния резонанс.

Този факт се потвърждава от многобройните експериментални изследвания на авторите проведени върху промишлени агрегати.

Дадени са резултати от експеримент с циментова мелница и турбокомпресорен агрегат.

Експериментално е доказано, че в зависимост от парциалните собствени честото на лагерните опори е възможно трептенията кратни на зъбната честота  $kz\omega$  да бъдат с по-голяма амплитуда от трептенията с честота  $z\omega$ .

3.27.

Сп. Механика на машините №90 година XVIII, книга 6, 2010г. Стр. 89-94

Полихармонични трептения на ротор с дебаланс

Николай Н. Минчев, Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

Изследвана е възможността за генериране на полихармонични трептения от неуравновесените инерционни сили(дебаланс) при наличие на нелинейни еластични свойства на лагерните опори. За целта е изяснено в какви случаи лагерните опори притежават нелинейни еластични свойства. Големите ротационни машини в енергетиката и химическата промишленост в са с плъзгащи лагери. При отслабване на връзката между лагерната опора и фундамента, зависимостта сила-деформация става нелинейна. Такава ситуация се наблюдава доста често при експлоатацията на ротационни машини, което налага изследване на проблема от гледна точка на вибродиагностиката. Задачата е решена на базата на механоматематичен модел при който се отчита динамичната връзка между трептенията на опорите и еластичния вал.

На базата на аналитични решения на диференциалните уравнения се доказва възможността за възбуждане на трептения с честота  $2\omega$  или  $3\omega$ . Трептенията с честота  $2\omega$  съществуват само в определена честотна област, докато трептенията с честота  $3\omega$  съществуват в цялата честотна област и имат характер на принудени трептения. Показана е възможността за съществуване на двата вида трептения едновременно, като е получена областта на съществуване на трептенията с честота  $2\omega$ .

Стига се до извода, че неуравновесените инерционни сили на ротор с отслабена връзка на лагерната опора с фундамента могат да възбудят високочестотни трептения на опорите.

Дадени са резултати от компютърни симулации и от експериментални изследвания доказващи верността на получените по теоретичен(аналитичен) път резултати.

3.28.

Сп. Механика на машините №92 година XIX, книга 1, 2011г. Стр. 84-90

Механоматематическо моделиране на пространствени трептения на лагерните опори на турбогенератори.

Николай Д. Минчев, Ивайло Минчев, Юлиян Минчев

Лагерите на турбогенераторите извършват пространствени трептения, въпреки че неуравновесените инерционни сили създават радиални натоварвания на лагерите. В този смисъл трептенията по оста на вала нямат адекватно обяснение. Една от възможностите за съществуване на осеви трептения се основава на хипотезата за възбуждане на пространствени трептения. В статията е предложен механоматематичен модел на пространствените трептения на лагерните опори на турбогенератори. Разгледани са някои по характерни случаи при които поради симетрия се намалява свързаността на трептенията. За тези случаи са определени главния вектор и главните момент на възбуждащите сили.

Проведен е анализ разкриващ един от механизмите на възбуждане на осеви трептения от дебаланс на ротори. Напречната сила от дебаланса възбужда осеви трептения, поради еластичната(деформационна) свързаност на трептенията на опорите. Ако се вземат конструктивни мерки тази свързаност на трептенията може да бъде преодоляна. Свързаност на трептенията се получава и при нарушения в монтажа, водещ до изменение на приложената точка на напречната сила.

3.29.

Сп. Механика на машините №93 година XIX, книга 2, 2011г. Стр. 84-88

Оценка на анизотропията на опорите при вибродиагностика на ротационни машини

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

Много често трептенията на лагерните опори в хоризонтално и вертикално направление се различават съществено както по интензивност, така и по спектрален състав/ Основна причина за това е анизотропията на опорите, изразяващи се в голяма разлика на хоризонталната и вертикалната коравина на опората.

В статията е предложена методика за количествена оценка на анизотропията по резултатите от измерванията в процеса на вибродиагностика. Количествената оценка на анизотропията има важна диагностична стойност, доколкото коравината на опорите е интегрална характеристика, включваща коравината на масления клин, коравината на лагерното тяло и коравината на връзката на лагерното тяло с фундамента.

За решаване на задачата е използван възможно най-простия динамичен модел на лагерния възел. Възбуждащите трептения сили са две. Едната е с обратна честота и се възбужда от дебаланса, а другата с честота два пъти по-голяма от обратната и се възбужда от несъосност.

Предложената формула е приложена за определяне на съотношенията между хоризонталната и вертикалната коравини на реални машини за които са показани спектрите на трептения.



3.30.

Сп. Механика на машините №94 година XIX, книга 3, 2011г. Стр. 73-76

Трептенията на зъбна предавка с дебаланс

Юлиан Минчев

Изследват се трептенията възбудени от дебаланса на единия вал от едностепенна зъбна предавка. Обикновено зъбното колело е уравновесено, но се наблюдава дебаланс по линия на фланеца на съединителя с който се свързва редуктора с машината. Произхода на този дебаланс може да е различен (не еднакво тегло на болтовете, неравномерно износени тампони).

Съставен е механоматематичен модел описващ трептенията на основата на който се установява, че се възбуждат два вида трептения

- Принудени трептения с честоти  $\omega_1$ ,  $(z_1 - 1)\omega_1$ ,  $(z_1 + 1)\omega_1$
- Параметрични трептения с честота  $2z_1\omega_1$  в зоната на параметричния резонанс.

Дадени са резултати от експериментални изследвания с два вида машини приведени в заводски условия. И в двата случая има остатъчен дебаланс на роторите на помпите, които са твърдо свързани с изходния вал на мултипликатора, т.е. налице е дебаланс на едното зъбно колело.

Показаните спектри на трептенията потвърждават верността на теоретичните резултати.

3.31.

Сп. Механика на машините №95 година XIX, книга 4, 2011г. Стр. 78-88

Термично възбудени трептения на ротори на турбокомпресорни агрегати

Ивайло Минчев, Юлиан Минчев

В статията се разглеждат две възможности за термично възбуждане на трептения на ротори на турбокомпресорни агрегати. Обърнато е внимание върху разнообразието на трептенията които могат да бъдат възбудени. За целта се разглеждат трептенията на еластичен вал и трептенията на опорите при статична деформация на вала. Такава ситуация може да възникне при натиск върху турбината от страна на паропровода. Силата се създава от температурни разширения на паропровода, при лошо състояние на окачването му. Такъв случай е наблюдаван при пускане на турбокомпресорен агрегат с мощност 5700kW. Дадени са спектрите на трептенията на турбината от които се виждат признаци за съществена еластична деформация на вала. След като са взети мерки за минимизиране на силата упражнявана от страна на паропровода върху турбината трептенията намаляват съществено.

Показаните теоретични и експериментални резултати илюстрират възбуждането на трептения в турбокомпресорен агрегат при еластична деформация на вала следствие на сила приложена върху корпуса на турбината. Силата е породена от температурните деформации на паропровода.

Илюстрирана е и друга възможност за термично възбуждане на трептения на базата на реален инцидент с турбокомпресорен агрегат на главен корабен двигател Pielstick с два турбокомпресора. Определени са честотите и формите на напречните трептения на вала на турбокомпресора. Установено е, че първата собствена честота попада в долната граница на експлоатационните обороти. Следствие на неправилен монтаж на лагерния възел не са осигурени условия за разширение на ротора и се получава топлинен дебаланс. Чрез крайноелементен модел на ротора е установено, че термичната деформация създава изместване на масовия център което генерира дебаланс по-голям от допустимия. Поради проблеми в двигателя турбокомпресора работи на долната граница на експлоатационните си обороти, които се оказват резонансни. При тази ситуация възникват много силни вибрации, довели до повреда на лабиринтните уплътнения и лагерния възел.

Разгледаните две възможности за термично възбудени трептения на ротори на турбокомпресорни агрегати са обосновани теоретично чрез пресмятания по метода на крайните елементи и аналитично решение.

3.32.

Сп. Механика на машините №95 година XIX, книга 4, 2011г. Стр. 89-92

Влияние на честотната асиметрия на турбинни лопатки върху трептенията на ротори

Николай Д. Минчев, Юлиан Минчев, Ивайло Минчев

Повод за теоретичното изследване е наблюдаваните експериментално трептения с честота 108Hz на лагерите на турбина ниско налягане на турбогенератор с мощност 230MW. Не бе ясен произхода на тези трептения. В литературата не е описан такъв случай. Трептенията се наблюдават след облопатване на ротора с нови лопатки целящи повишаване мощността на турбината. Следва да се отбележи, че и от завода производител не бяха наблюдавали такива трептения. Системата се характеризира с нови лопатки на ротор ниско налягане. Поради тази причина бе направен механоматематичен модел, описващ връзката между трептенията на лопатките, трептенията на ротора с трептенията на опорите. Анализа на уравненията показва, че ако лопатките трептят еднакво и имат еднаква приведена дължина и еднаква маса тогава инерционните сили породени от трептенията на лопатките се уравновесяват и трептенията на лопатките не възбуждат трептения на лагерите. Следователно асиметрията в трептенията на лопатките възбужда трептения на опорите. За изясняване количествената страна на въпроса е направен крайноелементен модел на турбинна лопатка от последната степен. Оказва се, че собствената честота е 108Hz. Числения резултат от пресмятане на собствената честота на лопатката потвърждава хипотезата, че асиметрията в трептенията на лопатките възбужда трептения на опорите.

3.33.

Сп. Механика на машините (под печат)

Експериментални резултати относно възбуждането на нискочестотни трептения в турбогенератори

Юлиян Минчев

Представени са екпериментални резултати относно възбуждането на нискочестотни трептения (автоколебания) в турбогенератори. Установено е опитно, че при разтоварени лагери в съчетание с недостатъчна елиптичност на лагерите се създават възможности за възникване на нискочестотни трептения.