

FRI-1.317-1-MEMBT-08

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF APPROACHES FROM PRACTICE TO LIMIT THE OCCURRENCE OF VIBRATIONS IN THE MECHANICAL PROCESSING OF MACHINE PARTS BY CUTTING⁸

Assoc. Prof. Dimitar Dimitrov, PhD

Department of Mechanical and Manufacturing Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse, Ruse, Bulgariya
Phone: 082-888 653
E-mail: ddimitrov@uni-ruse.bg

Chief Assistant Nikolay Stankov, PhD

Department of Mechanical and Manufacturing Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse, Ruse, Bulgariya
Phone: 082-888 653
E-mail: nstankov@uni-ruse.bg

Abstract: The publication presents an analysis and expert assessment of the advantages and disadvantages of the solutions used in engineering practice to limit the possibility of forced oscillations in the technological system when processing machine-building details by mechanical cutting. Classification features are proposed and based on them, a classification of the considered decisions is made. The conclusions obtained allow to determine an appropriate approach according to the specific production and technological conditions.

Keywords: Processing machine-building details, Classification, Forced oscillations,

ВЪВЕДЕНИЕ

Възникването на вибрации в технологичната система по време на рязане оказват негативно влияние върху процеса. За изясняване на протичащите процеси в научната литература основно се разглеждат идеализирани теоретични модели. (Луканов, Ангелов, Боздуганова, Витлиев, 1999-2023) С тях обаче е невъзможно да се обхванат многото частни случаи. Многовариантността се поражда от различията по отношение на стабилността на технологичната система (ТС), начина на установяване на заготовката, вида на режещия инструмент и неговата геометрия, стратегиите и режимите на рязане, и особено вида и амплитудата на вълните на появилите се вибрации, дължащи се на несъвършенствата в технологичната система.

Вибрациите в технологичната система се пораждат от различни източници. Част от тях са породени от работата на самата машина, а други от процеса на рязане. Машината, когато работи, внася определени вибрации, които могат да се предадат на инструмента или заготовката. Тези вибрации са периодични и постоянни. Процесът на рязане, от своя страна, се характеризира с момент на врязване на режещия ръб на инструмента, който създавайки периодични натоварвания и разтоварвания на ТС става предпоставка за възникване на вибрации, които са функция на геометрията на инструмента и режимите на работа. Всички тези външни ритмични въздействия могат да влязат в резонанс със собствените честоти на заготовката и драстично да намалят качеството на обработваната повърхнина, ефективността на процеса и трайността на режещия инструмент. Това е крайно неблагоприятен и трудно предсказуем ефект при обработване на недостатъчно укрепена и предразположена към вибрации заготовка.

⁸ Докладът е представен на заседание на секция „Механика и машиностроителни технологии“ на 27 октомври 2023 с оригинално заглавие на български език: АНАЛИЗ И КЛАСИФИКАЦИЯ НА ПРАКТИЧЕСКИТЕ МЕТОДИ ЗА ОГРАНИЧАВАНЕ НА ПОЯВАТА НА ВИБРАЦИИ ПРИ МЕХАНИЧНАТА ОБРАБОТКА НА МАШИНИ ДETAЙЛИ ЧРЕЗ РЯЗАНИЕ

Съществуват различни подходи за предотвратяване или ограничаване на вибрациите.

Превантивните мерки се изразяват в подходящи конструктивни решения по ТС *машина – приспособление – инструмент – заготовка*, за недопускане на появяването им.

Друг основен подход е чрез разсейване или преобразуване (десипация) на енергията на вече възникнали вибрации. Изборът отчита и зависи от наличните условия и цели, които в крайна сметка се свеждат до себестойност, производителност, надеждност и др. Той често е експертен или интуитивен и съответно е неоснован на аналитично решение, а се разчита на опитния принцип проба - грешка, който понякога е икономически неизгоден.

В същото време решаването на проблема с вибрациите в много случаи е съществен момент при определяне на технологията за механично обработване на дадено изделие, който трудно се предвижда и често се подценява.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Известно е, че в една реална трептяща система действат и силите на триене, затова трептенията, които възникнат в нея в резултат на еднократно въздействие, след известно време се преустановяват поради загубите. По тези причини те се наричат затихващи. Ако в такава система в подходящи моменти и по подходящ начин се внесе енергия отвън, която да компенсира загубите, трептенията могат да се превърнат от затихващи в незатихващи, наречени принудени трептения. Те се предизвикват от действието на външни периодични сили върху системата и се наричат още несвободни трептения. Такъв основен източник на принудени трептения са генерираните при процеса механично обработване чрез рязане в зоната на контакт между инструмента и заготовката. Към принудените трептения се причисляват и възникващите при работа в главните и подавателни преводи на металорежещите машини. Всички те оказват (в някои случаи дори значително) негативно влияние върху ефективността на технологичните процеси.

Следователно прилагането на ефективно решение на проблема с вибрациите е важен момент при разработване на технология за механично обработване на дадено изделие, а това е свързано с уточняване на предимствата и недостатъците на всяка възможност.

Методите за гасене на вибрации могат да бъдат анализирани според това към коя част от технологичната система се прилагат.

1. Методи за ограничаване на вибрациите според мястото на възникването им в технологичната система.

В случая всяка група методи за гасене на вибрации се разглежда според мястото, където възникват в ТС (*машина – приспособление – инструмент – заготовка*).

Ограничаване на вибрациите в металорежещата машина

Металорежещите машини се инсталират на специално проектирани антивибрационни фундаменти или подложки (фиг. 1) (интернет). Този подход основно осигурява изолиране на технологичната система от външни източници на трептения, както и на околната среда от вибрациите, генерирани в технологичната система.



Фиг. 1. Подложки за гасене на вибрации.

Все по-често корпусите на металорежещите машини се изработват като метални заварени конструкции, които се характеризират със сравнително ниската си цена и по-малка

маса. Този тип конструкции по принцип имат по-ниска собствена способност за виброгасене. Това в известна степен може да се компенсира чрез вграждане в кухините на конструкцията на вложки от виброгасящ материал.

Напоследък има и решения, при които в актуално време чрез датчици се измерват вибрациите в технологичната система и адаптивно се променят режимите на рязане, докато се постигнат приемливи стойности.

Предлагат се и машини с вградени активни виброгасителни системи, които генерират трептения със същата честота, но в противофаза на вече възникналите (фиг. 2) (интернет). Действието им се основава на използването на вградена в машината адаптивна система. Тя използва съвкупност от вибродатчици, разположени в определени зони, които предават актуална спектрална информация за трептенията, хардуер, софтуер, генератор на вибрации в противофаза и механична част за предаването им към работната зона на машината. Автоматизацията и универсалността на метода го прави лесен за прилагане от потребителите.



Фиг. 2. Модел на машина с вграден модул за активно виброгасене.

Предимствата и недостатъците на решенията, които се прилагат за гасене на вибрациите в самата машина могат да бъдат обобщени:

- Изработване на корпусите на машините без (или с минимум) сглобки с хлабина чрез заваряване или леене (отливките от чугун имат доказана виброустойчивост);

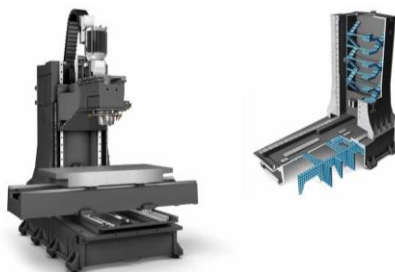
Предимства – Стабилна конструкция с добро виброгасене.

Недостатъци – Голяма маса, намалена динамика, изискваща съобразено задвижване, голяма себестойност, трудно транспортиране.

- Прилагане на метода на крайните елементи (МКЕ) при разработване на конструкцията на машината;

Предимства – Възможност за максимална оптимизация на теглото, геометрията и изборът на материал.

Недостатъци – Затруднено техническо изпълнение, водещо до по-висока себестойност.



Фиг. 3. Корпус на металоуреждаща машина с ЦПУ, конструиран с използване на МКЕ.

- Балансиране на въртящите се детайли;

Предимства – Намалване на риска от създаване на принудени трептения.

Недостатъци – Повишаване на цената заради допълнителните дейности по балансирането.

- Машини с активни виброгасители чрез генериране на вибрации в противофаза.

Предимства – Възможност за използването при конструкции, предразположени към трептене и с ниска себестойност.

Недостатъци – Допълнително оскъпяване и ограничения за вграждане във вече налични машини.

Основния недостатък на тези методи, е че ограничават вибрациите, които касаят само тази част от технологичната система.

Ограничаване на вибрациите в металорежещия инструмент

Динамичният характер на механичното рязане, цикличното натоварване/разтоварване на режещия инструмент, представляващ еластично тяло и непосредственото му участие чрез физически контакт със заготовката в процеса е предпоставка за водещото му значение и съответно търсене на решения за намаляване на вибрациите, предизвиквани от него.

Методите, които се прилагат се свеждат до разработване на тела и адаптери за инструменти с вградени компоненти за гасене на вибрации.

Предимства – Непосредствената близост до зоната на обработване и източника на вибрации, осигурява преки възможности за въздействие.

Недостатъци – По-висока себестойност на инструментите, липса на възможност за комплектоване на инструменти от различни производители и ограничение за вграждане само в тяло с достатъчни габарити. В определени случаи е с недостатъчна универсалност, т.е. ефективен е само за определен диапазон честоти.

Основния недостатък на тези методи, е че ограничават вибрациите, които касаят само тази част от технологичната система.



Фиг. 4. Инструмент с вградена в корпуса система за гасене вибрации.

На фиг. 4 е показана конструкция на металорежещ инструмент с вариант на вградена система за виброгасене. Тялото е кухо и в него е разположена системата за гасене на вибрации. Тя се състои от тежест в маслена среда, обхваната от гумен елемент, действащ като демпфер. При наличие на вибрации при обработване, възникналото трептене се предава по тялото на режещия инструмент, чиято описана по-горе сърцевина започва да вибрира, но поради силите на триене енергията на вибрациите започват да се преобразувана в топлинни загуби, а амплитудата им намалява.

Разновидности на конструкциите:

- запълване на цилиндричната кухина с оловни сачми;
- поставяне на незакрепено масивно цилиндрично тяло, имащо сглобка с малка хлабина с цилиндричния отвор.

Съществуват различни параметри, които оказват влияние за появата или големината на амплитудата на вибрациите. Една от тях е дължината на инструмента. Съответно по-голямата дължина е предпоставка за поява на вибрации или за тяхното засилване.

Геометрията на режещите ръбове на инструментите оказва силно влияние върху големината и посоката на силите на рязане, които в зависимост от вида на материала, избраните режими и устойчивостта на технологичната система, оказват влияние към появата на трептения.

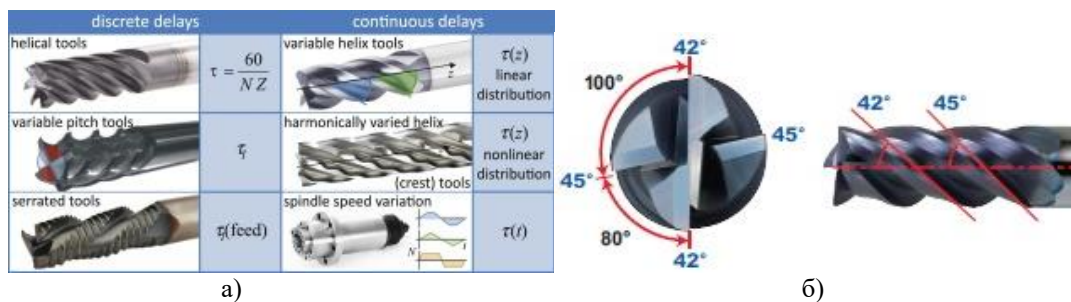
Препоръчителна и оправдана стратегия е динамичния избор на инструменти според изпълняваната операция, т. е. за груба обработка да се използват предназначени за това инструменти и след това те да бъдат заменени с такива за чиста обработка.

Един от установените източници на циклично внасяне на енергия са врязванията на режещите инструменти, работещи с прекъснато рязане (напр. фрезите инструменти). В случая възможен подход е несиметрично разполагане на режещите ръбове в комбинация с променлив ъгъл на спиралата. Така се предотвратява цикличността на внасяне на енергия от врязванията на режещите ръбове.

Предимства – Успешно отстранява част от спектъра на вибрациите.

Недостатъци – Свързани са с цената на такива инструменти и проблемите при възстановяване на режещата им част след износване.

Например при палцовите фрези (фиг. 5) (интернет) с несиметрично разположени пера в комбинация с променлив ъгъл на спиралата, значително намалява честотата на вибрациите и води до подобряване качеството на обработваната повърхнина. Новата геометрия подобрява и



Фиг. 5. а) Инструменти със специална антивибрационна геометрия вибрации

б) Антивибрационна фреза с несиметрични пера и променлив ъгъл на спиралата

стружкоотвеждането. Несиметричните пера и променливият ъгъл на спиралата предотвратяват появата на вибрации при обработката на детайли с тънки стени или обработки в дъното на дълбоки отвори. Постига се високо качество на повърхнината при чисто обработване на дълбоки канали (интернет).

Ограничаване на вибрациите на заготовката чрез приспособлението

Приспособленията се използват за т. нар. установяване на заготовките, т.е. да ги ориентират (базират) и закрепят в работната зона на машината, като да осигурят постигане на точност и еднозначност на базирането, надеждност на закрепването, а също ефективност на процеса и по-малко подготвително-заклучително време (Димов, Станков, 2022,2023).

В практиката за повишаване на виброустойчивостта на приспособления най-разпространен е експертно-интуитивният подход, целящ увеличаване на стабилността на заготовката чрез използване на допълнителни опори и закрепвания, които принципно не са необходими за осигуряване на изискванията към установяването ѝ.

Предимства – По-висока стабилност на заготовката и вероятно виброустойчивост към определени честоти.

Недостатъци – По-висока себестойност, по-голям разход на време при експлоатация, непредвидимост на ефективността спрямо конкретни честоти.

Ограничаване на вибрациите в заготовката

Веднъж конструиран, детайлът и съответно заготовката рядко има възможност да бъде променена с оглед подобряване на нейната виброустойчивост при обработване.

Това е възможно само на етапа конструиране на даден детайл, който във времето значително предхожда изработването. Необходимо е да има предварителна яснота за възможните критични собствени честоти, които трябва да бъдат избегнати чрез изменения в конструкцията.

Предимства – Надежден метод, който води до осигуряване на изискването за технологичност на конструкцията и ефективност при изработване.

Недостатъци – Необходимо е съчетаване на целта на конструирането според служебното предназначение на дадения детайл с технологията за изработването му.

Други методи за ограничаване на вибрации в технологичната система:

- Ограничаване на вибрациите чрез корекция (най-често с намаляване) на работните режими;

Предимства – Гъвкав и изпитан метод, лесно приложим.

Недостатъци – Намалява се производителността, увеличава се себестойността, зависимост от субективния фактор, не винаги е успешен.

- Планиране на стратегия за отнемане на прибавката, с цел избягване или намаляване на риска от вибрации;

Предимства – Сравнително лесно за организиране.

Недостатъци – Намаляване на ефективността на процеса.

2. Методи за борба, според момента на въздействие при възникване на вибрации.

Превантивни методи

Това са мерки, които се изразяват в прилагане на подходящи конструктивни решения, основно за повишаване на стабилността на елементите от технологичната система *машина – приспособление – инструмент – заготовка*. Целта е да не се създават условия (да се осуети възможността) за възникване на вибрации при механично обработване в диапазона на оптималните режими на рязане. Основно подходът се прилага за повишаване на стабилността на металорежещата машина и на приспособленията за установяване на заготовките за сметка на увеличена маса, използване на специални материали, намаляване на броя на сглобките и работните хлабини. По-малки са възможностите и решенията за повишаване на стабилността на режещия инструмент, а още по-ограничени са за повишаване на стабилността на самата обработвана заготовка. Към този подход спадат и решенията, отнасящи се до създаването на специална геометрия на режещата част и стружкоотвеждащите канали на въртящите се инструменти, имащи прекъснато рязане. Такива са например инструментите без периодичност в разположението на съседните режещи ръбове (стружкоотвеждащи канали).

Предимства – Очакваното преимущество на подхода по отношение на машината и приспособлението би следвало да бъде в това, че няма да се налага предприемането на ответни действия за ограничаване на вибрациите, особено при условията на едросерийно и масово производство.

Недостатъци – Трудната прогнозируемост на възникването на вибрации с определен честотен спектър, която се усложнява при широко номенклатурните и по-дребно серийните производства и възникващите в резултат множество различни условия на обработването.

Ответни методи

Друг основен подход е прилагане на реакция – „гасене” на вече възникнали в резултат на механичното обработване вибрации. Реакцията, от своя страна, по своята същност би могла да се определи като пасивна или активна. С въвеждането на такъв критерий за оценка подходите за борба с вибрациите имат следните популярни решения:

- Промяна на режимите на рязане (Димов, Станков, 2022,2023).

Предимства – Лесно за осъществяване, включително и с адаптивни автоматизирани системи.

Недостатъци – Неизползването на оптимални режими води до намалена ефективност на процеса.

- Добавяне на виброгасящи елементи, например в инструмента.

3. Методи за ограничаване на вибрациите според начина на борба с тях.

Пасивно виброгасене

То най-често се базира на предизвикването (създаването) на загуби (от триене) на енергията на трептенията. Този подход има множество различни конструктивни реализации

при формирането на т. нар. инструментални комплекти, включващи режещите инструменти и инструменталните държачи. Така в някои случаи, по данни на производителите, може да се постигне неколкостранно намаляване на амплитудата на трептенията, при запазени габарити на режещия инструмент или държач и съответно създаване на възможност за работа с минимални вибрации при ниска стабилност на инструменталния комплект.

Друго решение на този подход е използването на специални виброгасящи фундаменти и базови опори за машините. Ефектът им е значителен по отношение на намаляване на възможността за предаване на трептения към пода на помещението и другото оборудване, намиращо се в близост.

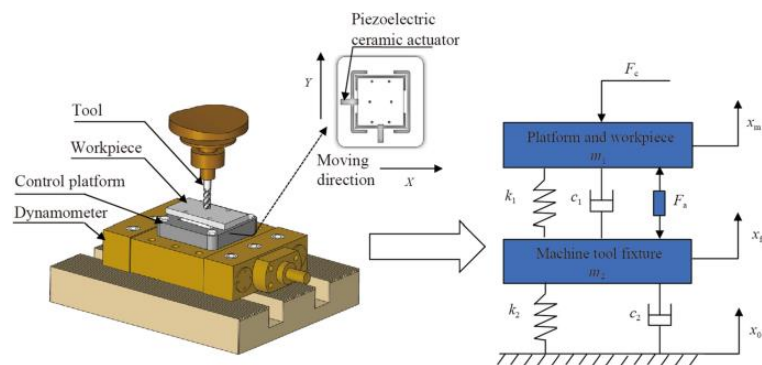
Недостатък на подхода чрез пасивно виброгасене, особено при инструменталните комплекти е ограниченият диапазон на ефективност, ниската универсалност и липсата на взаимозаменяемост на продуктите на различни производители и не на последно място големите разходи за осигуряване на инструментална екипировка за широк диапазон приложения.

Активно виброгасене

Това е сравнително по-нов подход и се състои в генерирането на вибрации в противофаза в отговор на възникващите при механичното обработване. За реализация на подхода са необходими датчици за измерване на параметрите на вибрациите в контролирания обект, генератор на вибрации, микропроцесорна система и алгоритъм за управление, т.е. това са основните компоненти за реализацията на една специализирана адаптивна система за автоматично регулиране от затворен тип. За сега са известни някои решения, вградени към металоурежещите машини (фиг.6), (интернет).

Предимствата на активното виброгасене са неговата предполагаемо по-голяма гъвкавост.

Недостатъците се изразяват в липсата на достатъчно данни за надеждността и ефективността му с оглед ограничените възможности за избор на места за вграждане на генератора на вибрации в металоурежещата машина, така че да е в близост до зоната на рязане, където е източникът на вибрации.



Фиг.7 Система за активен контрол на вибрациите при фрезование

В заключение може да се уточни, че по отношение на мястото, където се осъществява виброгасенето, известните решения може да се класифицират съответстващо на наименованията на елементите на технологичната система, състояща се от *машина, приспособление, инструмент и заготовка (детайл)*.

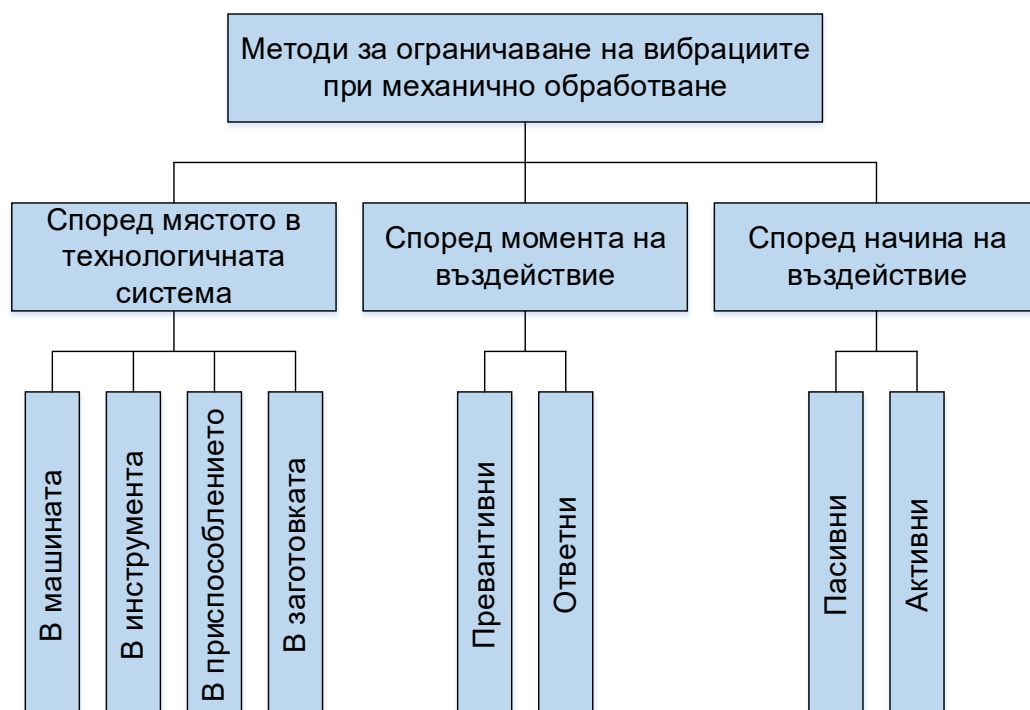
Анализът на разгледаните решения показва, че основно те са насочени към машината и инструмента (инструменталния комплект).

Приспособленията имат за основна цел да осигурят правилна ориентация и неподвижност на заготовката при обработването ѝ. Освен това има изискване за постигане на по-малко подготвително - заключително време, т.е. по-лесно и по-бързо установяване (базиране, центроване, закрепване) на заготовката. При обработване на нестабилни заготовки в условия на единично или дребносериенно производство ограничаването на склонността им към вибрации чрез допълнителни закрепващи елементи не винаги е възможно или достатъчно ефективно.

По една или друга причина няма популярни решения, насочени към заготовката. В същото време в производството не са рядкост случаите, когато обработваната заготовка е най-нестабилния или поне достатъчно нестабилен елемент от технологичната система за да се превърне в източник на вибрации при механичното ѝ обработване.

Когато изработването на дадено изделие се извършва по задание на възложителя, промени по инициатива на изпълнителя относно материала на заготовката, на габаритите или конструкцията на изделието с цел промяна на неговата стабилност са общо взето невъзможни. При такива ограничения обработването на нестабилна и имаща склонност към вибрации заготовка се превръща в сериозно предизвикателство. Обикновено възможностите при такива условия се изчерпват с прилагане на редуцирани режими на рязане и допълнително укрепване на самата заготовка, като последното се прилага само ако е възможно и допустимо.

На схемата на фиг. 7. е представена примерна класификация на методите за ограничаване на вибрациите, която има за цел да обобщи направения по-горе анализ и да улесни



Фиг. 7. Класификация на методите за ограничаване на вибрациите при механично обработване

потенциалния потребител в избирането на най-подходящото решение е показана на блок схемата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вибрациите са негативно явление в технологичната система, което води до влошаване на качеството на обработваната повърхнина, намаляване на ефективността на технологичния процес и по-интензивно износване на инструментите и машините.

Характерно за анализирания подход за борба с вибрациите е, че те са за конкретни условия, т.е. не съществува обобщен универсален подход.

Виброустойчивостта на металорежещите машини се осигурява основно и частично при конструирането, изработването им и техния монтаж в цеха.

Съществуват решения с частичен обхват за гасене на вибрациите чрез решения в конструкцията на режещия инструмент, промяна на режима на работа или схемата за изрязване на прибавката.

За повишаване на стабилността на системата приспособление – заготовка могат да се прилагат допълнителни опори и закрепвания, чиито брой и разположение може да бъде с ефективен резултат, ако е методически обоснован.

Избирането и прилагането на подходящ подход, базирано на експертна оценка е свързано с оценка на предимствата и недостатъците и може да се улесни с предложени анализ и класификация.

БЛАГОДАРНОСТИ

Докладът отразява резултати от работата по проект No 2023 - МТФ - 01, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.

REFERENCES

Vitliemov V. G., V. S. Bozduganova, Yu. A. Angelov. *Dynamics of mechanical systems with unconventional drive*. Ruse, Ruse University Publishing Center "Angel Kanchev", 2023, p. 474, ISBN 978-619-7135-20-6. (*Оригинално заглавие*: Витлиемов В. Г., В. С. Боздуганова, Ю. А. Ангелов. *Динамика на механични системи с нетрадиционно задвижване*. Русе, Русенски университетски издателски център „Ангел Кънчев“, 2023, с. 474, ISBN 978-619-7135-20-6).

Dimov E., N. Stankov. *Development of a technology and fixtures for assembling and machining of a front frame*. 62th Science Conference of Ruse University - SSS, p. 27-42, Ruse, Bulgaria, 2023, ISSN 1311-3321 (Print), ISSN 2603-4123 (Online). (*Оригинално заглавие*: Е., Димов, Н. Станков. *Разработване на технология и приспособления за сглобяване и механично обработване на рама предна*. Сборник доклади на 62-та студентска научна конференция – СНС‘23, Том 62, серия 2.2. Механика и машиностроителни технологии, стр. 27-42, Русе, 2023, ISSN 1311-3321 (Print), ISSN 2603-4123 (Online)).

Stankov N. *Technology and fixtures for machining of parts for grapple buckets*. XIX International Scientific Congress – Summer Session, “Machines. Technologies. Materials”, Section “Technologies”, vol. 4, p. 308-312, Varna, Bulgaria, 2022, ISSN 2535-0021 (Print), ISSN 2535-003X (Online). (*Оригинално заглавие*: Станков Н. *Технология и приспособления за механично обработване на детайли за грайферни кофи*. XIX Международен научен конгрес – Лятна сесия, “Машины. Технологии. Материали”, Секция “Технологии”, том 4, стр. 308-312, Варна, България, 2022, ISSN 2535-0021 (Print), ISSN 2535-003X (Online)).

Stankov N. *Technology and fixtures for assembling and machining of a crane column*. XIX International Scientific Congress – Winter Session, “Machines. Technologies. Materials”, Section “Technologies”, vol. 2, p. 161-165, Borovets, Bulgaria, 2022, ISSN 2535-0021 (Print), ISSN 2535-003X (Online). (*Оригинално заглавие*: Станков Н. *Технология и приспособления за сглобяване и механично обработване на кранова колона*. XIX Международен научен конгрес – Зимна сесия, “Машины. Технологии. Материали”, Секция “Технологии”, том 2, стр. 161-165, Боровец, България, 2022, ISSN 2535-0021 (Print), ISSN 2535-003X (Online)).

Kostadinov Ch., I. Peeva. (2020) *Features of queuing systems with queues*, Discrete Production Automation Magazine, 2/2020, ed. TU-Sofia, pp. 22-25, ISSN: 2682-9584. (*Оригинално заглавие*: Костадинов Ч., И. Пеева. *Особености на системите за масово обслужване с опашки*, сп. Автоматизация на дискретн. произв., 2/2020, изд. ТУ-София, стр. 22-25, ISSN: 2682-9584.)

Loukanov I., V. G. Vitliemov. I. V. Ivanov, Y. Angelov (2018) *Vibration steering of a vibration-driven mobile robot*, 57th Annual Science Conference of Ruse University and Union of Scientists - Ruse, NEW INDUSTRIES, DIGITAL ECONOMY, SOCIETY-PROJECTIONS OF THE FUTURE, volume 57, book 2.1, pp. 9-17 ISBN: 2603-4123

Koleva S. M. Enchev T. Szecsi. (2015) *The Influence of the Mechanical Deformations on the Machining Accuracy of Complex Profiles on CNC Lathes*. MESIC Manufacturing Engineering Society International Conference 2015., 2015, No 132, pp. 521-528, ISSN 1877-7058.

Angelov Y., Bozduganova, V., V. G. Vitliemov, (2015) *Partial harmonic excitation of rocking with rolling (kiiking)*. (*Оригинално заглавие*: Ангелов Ю., В. Боздуганова, В.

Витлиев, *Частично хармонично възбуждане на люлеене с превъртане*, 2015, ISBN: 0861-9727

Bozduganova, V., V. G. Vitliemov, Yu. A. Angelov, (2015), *Dynamics of rocking with scrolling (kiiking)*, Mechanics of machines, ISBN: 0861-9727 (*Оригинално заглавие: Динамика на люлеене с превъртане*, Боздуганова, В.С., В.Г. Витлиев, Ю.А. Ангелов, Механика на машините ISBN: 0861-9727

Angelov, Yu. A. (2010) *Parametric study of the vibration resistance of the main translation of a metal-cutting machine*. International virtual journal for science, technics and innovations "Machines, Technologies, Materials", 2010, issue Issue 4-5, pp. 28-31, ISSN 1313-0226.

(*Оригинално заглавие: Ангелов, Ю. А. Параметрично изследване на виброустойчивостта на главен превод на металоуреждаща машина*. International virtual journal for science, technics and innovations "Machines, Technologies, Materials", 2010, брой Issue 4-5, стр. 28-31, ISSN 1313-0226.)

Enchev PT, YA Angelov. (2004) *Vibration resistance of the main translation of a metal-cutting machine*. Mechanics of machines, 2004, issue XII, book 2, pp. 92-95, ISSN 0891-9727. (*Оригинално заглавие: Енчев П.Т., Ю.А.Ангелов. Виброустойчивост на главен превод на металоуреждаща машина*. Мех. на машините, 2004, брой год. XII, кн. 2, стр. 92-95, ISSN 0891-9727.)

Angelov, Yu. A. (1999) *Modeling and research of the dissipative properties of joints and gears from main translations of metal-cutting machines*. 5th International Conference AMTECH'99, Plovdiv, TU Plovdiv, 1999, pp. 116-122. (*Оригинално заглавие: Ангелов, Ю. А. Моделиране и изследване на дисипативните свойства на съединения и предавки от главни преводи на металоуреждащи машини*. 5-та международна конференция AMTECH'99, Пловдив, ТУ Пловдив, 1999, стр. 116-122)

Penchev M.S., I. Peeva .(1995) In Sat. '95, Sofia. *Study of the efficiency of a vibrating power supply device with variable spring elasticity*. Automation and Informatics, 1995, issue 5, pp. 397 – 400 (*Оригинално заглавие: Пенчев М. С., И. В. Пеева. В сб. '95, София. Изследване на ефективността на вибрационно захранващо устройство с променлива еластичност на ресорите*. Автоматика и информатика, 1995, брой 5, стр. 397 – 400)

<https://www.vibrationmountsindia.com> (2023).

<https://rcmt.cvut.cz/design-of-two-axial-actuator-for-controlled-vibration-damper-for-large-rams> (2021).

<http://www.timextools.com/news.php?id=6>. VFMHV - Антивибрационни палцови фрези. (2023).

<https://www.dreamstime.com/photos-images/clamp-cnc-fixture.html>. 2023.

(<https://link.springer.com/article/10.1007/s40436-021-00386-7>)