РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ”

Факултет „Машинно технологичен“

маг. инж. РУМЯНА МИХАЙЛОВА БРАТАНОВА

РЕКОНФИГУРУЕМА МОДУЛНА МАНИПУЛАТОРНА СИСТЕМА ЗА МОБИЛНИ РОБОТИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане
на образователната и научна степен “доктор”

по научната специалност
“Автоматизация на производството”

Научен ръководител:

доц. д-р. Даниел Михайлов Братанов

Русе

2013

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ”

Факултет „Машинно технологичен“

маг. инж. РУМЯНА МИХАЙЛОВА БРАТАНОВА

РЕКОНФИГУРУЕМА МОДУЛНА МАНИПУЛАТОРНА СИСТЕМА ЗА МОБИЛНИ РОБОТИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за присъждане на образователната и научна степен
“доктор”

по научната специалност
“Автоматизация на производството”

Научен ръководител:

доц. д-р. Даниел Михайлов Братанов

Рецензенти:
.....
.....

Русе

2013

Дисертационният труд е в общ обем от 191 страници от които 169 страници основен текст , съдържащ 117 фигури, 7 таблици, списък на използваните 89 литературни източници и 22 страници с 2 приложения.

Номерата и наименованията на точките, фигурите, зависимостите и таблиците съответстват на тези в дисертационния труд.

Дисертационният труд е обсъден и препоръчан за защита от катедра «ТЕХНОЛОГИЯ НА МАШИНОСРОЕНЕТО И МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ» при Русенски университет „Ангел Кънчев“ на заседание на Катедрения съвет състояло се на 27.06.2013 г.

Докторантът е зачислен в редовна докторантура към катедра «ТЕХНОЛОГИЯ НА МАШИНОСТРОЕНЕТО И МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ» при Русенски университет „Ангел Кънчев“

Изследванията по дисертационната работа са извършени в лаборатория по автоматизация и роботизация на производството към катедра ТММРМ на Русенския университет.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на …….. от ……. часа в зала …..… на Русенски университет.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ТММРМ, стая…….11 корпус на Русенския университет „Ангел Кънчев“

Автор: маг. инж. Румяна Михайлова Братанова

Заглавие: Реконфигуруема модулна манипулаторна система за мобилни роботи

Тираж: …… броя
Печатна база на РУ

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Урбанизацията и прекомерното увеличаване на градското население увеличават смъртността при бедствия. Отломките, останали след катастрофа, са изключително опасна среда и работата в тези развалини застрашава здравето и живота на спасителите. Поради това много научни изследвания и проекти се занимават с разработването на мобилни роботи за търсене и спасяване снабдени със сръчни модулни реконфигуруеми манипулатори. Най-важното изискване към мобилните роботи е свързано с техните манипулационни възможности. От мобилните роботи за спасителни операции и обезвреждане на взривове се изисква да могат надеждно и безпроблемно да изпълняват поставените им задачи с точност и прецизност близка до тази на обучените специалисти. Това изискване поставя изследването на преходните процеси възникващи по време на позициониране на изпълнителните звена сред основните характеристики, които е необходимо да бъдат определяни при свръх леките модулни манипулатори монтирани на мобилна база.

Научна новост

- Създаден е модел на опитна установка за определяне влиянието на еластичното окачване на мобилен робот върху отклонението от равновесно положение и преходните процеси при освобождаване на манипулирания товар от изпълнителните звена на манипулаторите му.
- Адаптиран е оптичен метод за измерване на отклонението от равновесно положение на изпълнителното звено при свръх леки модулни манипулатори.
- Адаптиран е метод за определяне на затихващи преходните процеси като амплитуда на колебанието, скорост на колебанието, и ускорение на колебанието в изпълнителното звено на модулен манипулатор.

Приложимост и полезност

Създадените опитни уредби за отчитане на преходните процеси при отклонение от равновесно положение на изпълнителното звено на манипулатор осигуряват:

1. база за провеждане на упражнения със студенти по роботика;
2. регистриране на преходните процеси в изпълнителните звена на мобилни роботи;
3. оценка на пригодността на мобилни роботи да манипулират опасни товари;
4. провеждане на изследвания свързани с дефиниране на коефициента на еластичност на окачването на мобилни роботи.

Методи за изследване

Изследването проведено в дисертацията е основано на анализ на резултатите получени от литературното проучване, обхващащо състоянието на проблема на

мобилните роботи за обезвреждане на взривове, литературните сведения за предлаганите на пазара модулни манипулатори и научни публикации в областта на роботиката. В рамките на изследването са съпоставени математически модел описващ преходните процеси на модулния манипулатор на Rescuer, компютърна симулация и експериментални данни получени посредством прилагането на емпирични методи в експериментална уредба.

Апробация

Работата е докладвана на етапи и като цяло на заседания на катедра «ТЕХНОЛОГИЯ НА МАШИНОСТРОЕНЕТО И МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ» при Русенски университет „Ангел Кънчев“.

Дисертационната работа е докладвана на следните научни конференции:

- Научна конференция на Русенския университет, гр. Русе, 2011
- Двадесет и първа международна научно-техническа конференция, АДП 2012, гр. Созопол
- Научна конференция МАТТЕХ 2012, гр. Шумен, 2012
- Global Virtual Conference 8-12 April 2013 Slovak Republik

Публикации

Основните резултати от дисертационната работа са публикувани в 5 доклада от сборници на научни конференции, от които 1 чуждестранен и 4 в страната с международно участие.

Обем и структура на дисертацията

Дисертационният труд е в общ обем от 191 страници от които 169 страници основен текст , съдържащ 117 фигури, 7 таблици и списък на използваните 89 литературни източници и 22 страници с 2 приложения.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I РЕКОНФИГУРУЕМИ МОДУЛНИ МАНИПУЛАТОРНИ СИСТЕМИ

Мобилните роботи и особено мобилните роботи оборудвани с манипулатори навлизат все по активно в социалната сфера на човешкия живот. Случаи като катастрофата с централата Фукушима показаха че мобилните роботи за спасителни операции са незаменими инструменти за ликвидиране на извънредни ситуации, настъпили в критична инфраструктура. Използването на модулни реконфигуруеми манипулатори монтирани на мобилна база намират все по широко приложение при конструирането на роботи за спасителни операции и за обезвреждане на взривове. Представеният обзор на мобилни роботи с реконфигуруеми модулни манипулатори за

спасителни операции и обезвреждане на взривове позволява да се формулират следните изводи:

1. Мобилните роботи навлизат все повече в различни обществено значими сфери на човешката дейност. Тази миграция на роботиката от чисто индустриалната област на икономиката към социалната сфера изисква по-добро познаване на проблемите и процесите, съпътстващи експлоатацията на базирани на мобилни платформи модулни манипулатори.

2. Мобилните роботи нямат алтернатива когато става на въпрос за автоматизиране на дейностите свързани с предотвратяване или отстраняване на последствията от природни бедствия, крупни производствени аварии, тероризъм или екологични катастрофи. Изучаването, изследването и оценката на качеството на преходните процеси ще даде по-ясна представа за поведението на мобилните роботи при изпълнение на операции, които са предмет на анализ в дисертационният труд.

3. Мобилните роботи са най-подходящ инструмент за осъществяване на дистанционно управлявани дейности и решаване на широк спектър от задачи при екстремални условия, в опасна за човешкото здраве и живот среда.

4. Еластичната схема на окачване, която е в основата на мобилните роботи, води до влошаване на показател като отклонение от равновесно положение на изпълнителното звено. Това налага разработването и изследването на подход за оценяване на влиянието на тази схема върху поведението на робота при отклонение от равновесно положение на работния му орган.

5. Целесъобразно е да бъде предложен метод за определяне на затихващ колебателен преходен процес при освобождаване на манипулирания товар от изпълнителното звено на свръх леки модулни реконфигуруеми манипулатори, чрез който ефективно да може да се оцени влиянието на окачването върху отклонението от равновесно положение на хващача.

6. За оценката на поведението на мобилни роботи при изпълнение на дискутираните операции е необходимо да се разработят методики, чрез които да се оценява влиянието на мобилните системи върху отклонението от равновесно положение на изпълнителните звена на манипулаторите им, което ще допринесе за по-доброто проектиране или избор на система за манипулиране на мобилен робот за конкретни условия на приложение.

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е **да се анализират и изследват основни процеси и характеристики на реконфигуруеми модулни манипулаторни системи за мобилни роботи за изясняване на поведението им при изпълнение на различни операции, свързани с отстраняване на последствия от природни бедствия, промишлени аварии или терористични действия, както и да се предложат**

методики за оценяване на влиянието на мобилните системи върху точността на позициониране на манипулаторите им.

За постигане на целта е необходимо да се решат следните задачи:

1. На базата на двурък мобилен робот с дистанционно управление „Rescuer" да се разработят възможните варианти за конфигуриране на модулните му манипулатори с цел, постигане на ефективно обезвреждане на импровизирани и армейски експлозиви.

2. Да се предложи метод за регистриране на затихващ колебателен преходен процес при освобождаване на манипулирания товар от изпълнителните звена на свръх леки модулни реконфигуруеми манипулатори.

3. Да се измерят еластичните деформации, които полезният товар предизвиква в манипулатора в работно положение и в най-разпънато положение, като се отчете влиянието на елементите на окачване на робота.

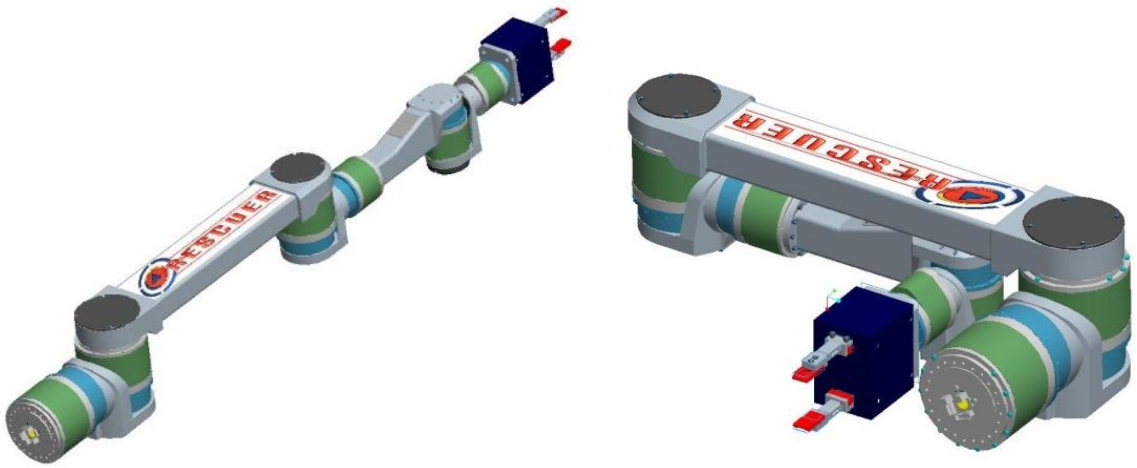
4. Да се изследват колебанията, възникващи в изпълнителния елемент на ултра лек реконфигуруем модулен манипулатор на мобилен робот, при освобождаване на манипулирания товар, като се отчете влиянието на окачването на роботизираната система.

5. Да се разработи лабораторно експериментално оборудване за изследване на еластичната деформация и определяне на затихващите колебания в отклонението от равновесно положение на изпълнителното звено на реконфигуруем модулен манипулатор за мобилен робот.

ГЛАВА II МОДУЛЕН РЕКОНФИГУРУЕМ МАНИПУЛАТОР ЗА МОБИЛЕН РОБОТ

2.1 Манипулатори и хващачи

По време на разработването и изпълнението на проекта RESCUER, бяха анализирани различни конфигурации на манипулаторите. Проиграваха се варианти както от гледна точка на последователност на подреждане на отделните модули, така и от гледна точка на коплиращите елементи. Окончателната версия на манипулаторите взе под внимание възможностите за производство на елементите, стойността на производството, работното пространство, масата на изделието, пригодността за окабеляване и изискванията за сглобяване на ръцете. Окончателният дизайн на ръка на робота RESCUER е показана на Фиг 2.6. Дизайнът основно бе разработен в Будапещенския университет по Технологии и Икономика. Окончателната доработка на дизайна, производството на коплиращите елементи, окабеляването и сглобяването на манипулаторите бе извършено в лабораторията по роботика на Русенски университет.



Фиг. 2.6

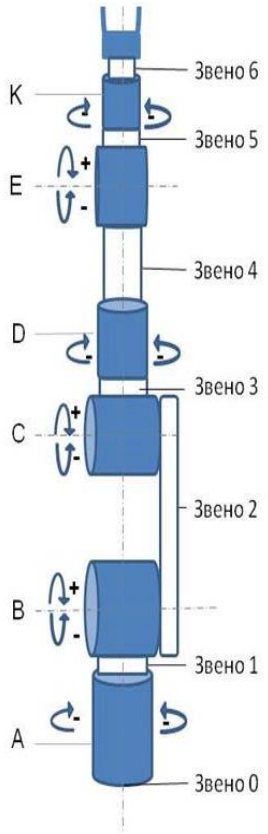
Манипулатор на робот Rescuer в работно (а) и походно (б) положение [89]

2.2 Методика за разработване на възможните варианти за конфигуриране на модулен манипулатор на базата на двурък мобилен робот с дистанционно управление „Rescuer”

Движенията на манипулатора са сходни с движенията на човешката ръка. Различават се три вида движения глобално, регионално и локално [6], [7], [8]. Манипулаторите на робота Rescuer притежават по шест ротационни кинематичните двоици и принадлежат към групата на антропоморфните манипулатори. Геометричната структура на манипулатора, която се вижда на Фиг. 2.9 е съставена схематично от блокове представляващи ротационни PRL модули и прави линии свързващи тези модули. Хващача е монтиран към края на последния шести модул. Приема се, че осите на ротация на двоиците са, или ортогонални, или успоредни помежду си.

Глобалното движение осъществява преместването на целия робот спрямо една неподвижна система свързана със земята.

Регионалните движения реализират позиционирането на обекта спрямо базовата координатна система т.е. фиксирана точка от манипулирания обект попада в точка от зоната на достижимост (работна зона). Те се извършват от ротационните двоици A, B, C на изследвания манипулатор (Фиг. 2.9). Веригата от звена 0, 1, 2, 3 образува т. н. регионална структура. Следователно



Фиг. 2.9 Геометрична структура на манипулатор на робот Rescuer

регионалната структура на манипулатора на робота за спасителни операции и обезвреждане на експлозиви е R R R ъглова (смесена) регионална структура. Тя реализира позиционирането на точка от звено 3 чрез три ротации.

По-нататъшната ориентация на обекта се осъществява за сметка на т.нар. локални движения [7].

Ротационните кинематични двоици D, E и K осъществяват ъгловата ориентация на обекта спрямо базовата координатна система. А звената 4, 5, 6 образуват локалната структура (Фиг.2.9).

Преместванията на хващача на манипулатора са сума от глобалните, регионалните и локалните движения. Тъй като се изследва само манипулатор от мобилния робот Rescuer, глобалните движения на робота са пренебрегнати.

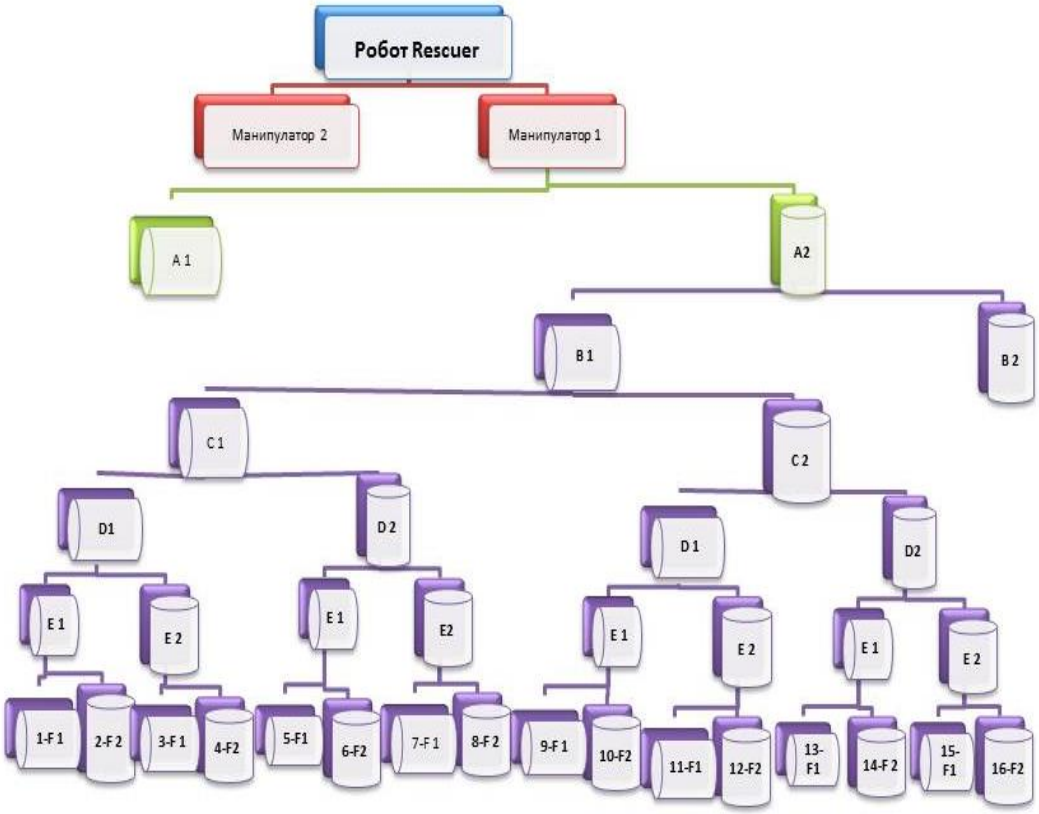
Броят на теоретичните структури на манипулатора с 6 DOF се изчислява по формула (10):

$$N_{\Sigma}^{6} = N_{l}^{3} . N_{r}^{3} \qquad (10)$$

$$N_{\Sigma}^{6} = 8 . 8 = 64 \qquad (10.1)$$

Броят на теоретичните варианти на изследвания манипулатор е 64.

Като се взема предвид, че един модул притежава една степен на подвижност и може да бъде конфигуриран по два начина: хоризонтално и вертикално [89], за манипулатор 1 (фиг. 2.10) са получени 64 различни конфигурации.



Фиг. 2.10

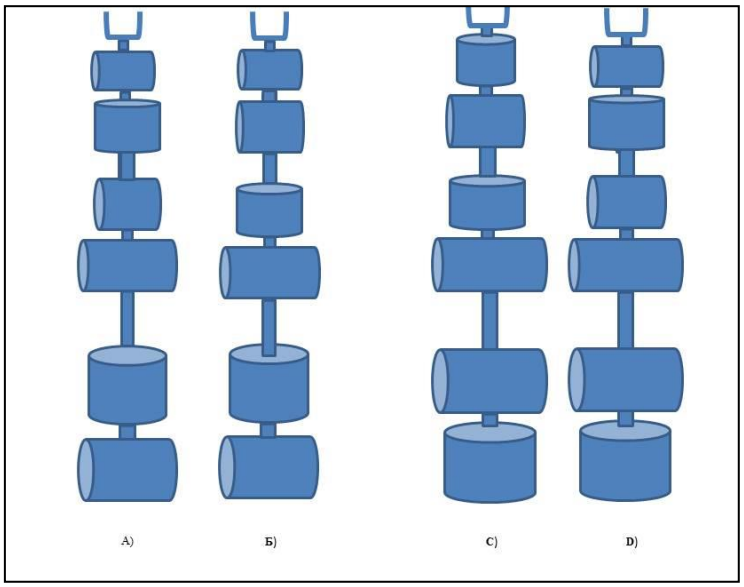
Варианти за конфигуриране на манипулатора

Въпреки, че реконфигуруемия модулен манипулатор може да бъде създаден по различни начини не всички конфигурации са приемливи, или си струва да се произвеждат в действителност.

Броят на практическите възможни варианти на структурните схеми на манипулатора на мобилен робот за спасителни операции с 6 степени на подвижност е:

$$N_{\Sigma}^{6} = N_{l}^{3}.N_{r}^{3} = 2\ .\ 2 = 4 \qquad (11)$$

Четирите реални геометрични конструкции с шест степени на подвижност са посочени на фигура 2.19. Първите две имат по-голям обхват на действие от вторите, но не могат да изпълнят верикално дижение (повдигане) на манипулатора. Ето защо те отпадат като възможни конфигурации за манипулатор. От последните две е избрана конфигурацията с по голямо работно пространство (Фиг. 2.19. С).



Фиг. 2.19 Реални геометрични структури

Предложеното решение на задачата за определяне на броя на теоретичните структури в един модулен манипулатор позволява да се направят следните изводи:

1. Дори при опростяване на задачата, чрез приемане на модули от един единствен тип, са възможни 64 различни комбинации на сглобяване за манипулатор с шест степени на подвижност;
2. Извеждането на геометричните структури по регионални, локални и реални признаци позволява определянето на полезния ефект на манипулатора;
3. Решението на задачата доказва многофункционалността на конфигуруемите модулни манипулатори;
4. Дефинира се работното пространство на манипулатора, т.е. неговата манипулативност;
5. Задачата за определяне на структурите в модулните манипулатори индиректно влияе и на тяхното сервизно обслужване (необходимост от реконфигуриране).

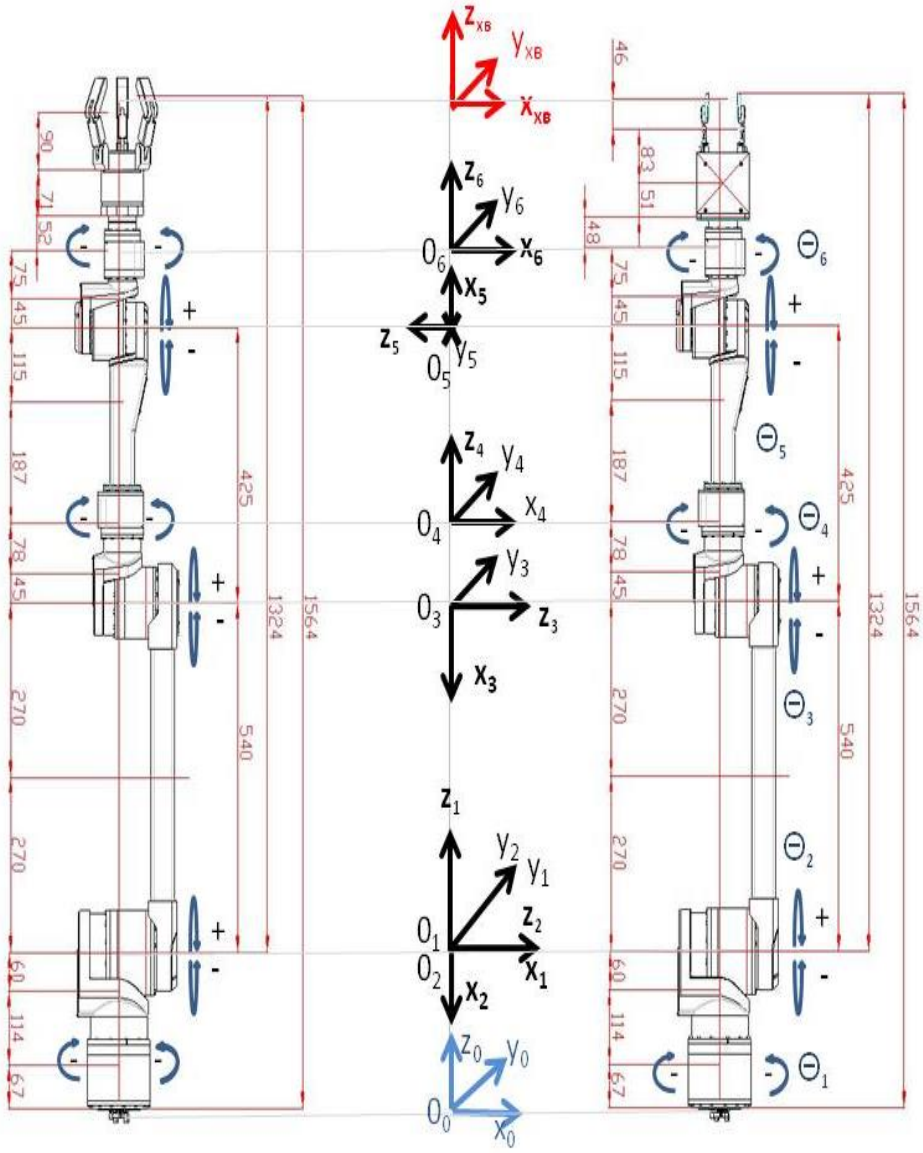
2.3. Кинематика на модулния реконфигуруем манипулатор за мобилен робот

Роботът Rescuer има два режима на управление:

1) ръчен режим, с директно управление на всички функции на робота в това число и функциите за захващане и манипулиране на обекти;
2) автоматичен режим, който се разделя на две подчасти:

а) режим на установяване на манипулаторите и режим на захващане и манипулиране на обекти и инструменти, позиционирани в задната част на мобилната платформа. Тези обекти са извън видимия обсег на оператора. Операциите с тях се извършват по предварително зададена програма;

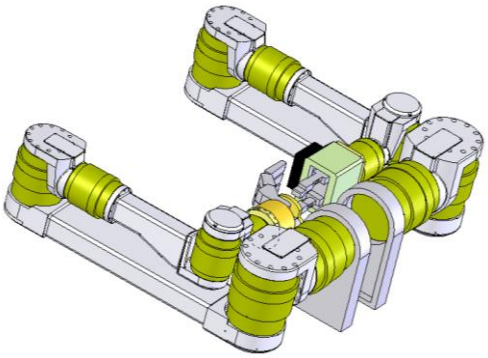
б) режим на изцяло автономна дейност на работа. Този режим е в процес на разработка.



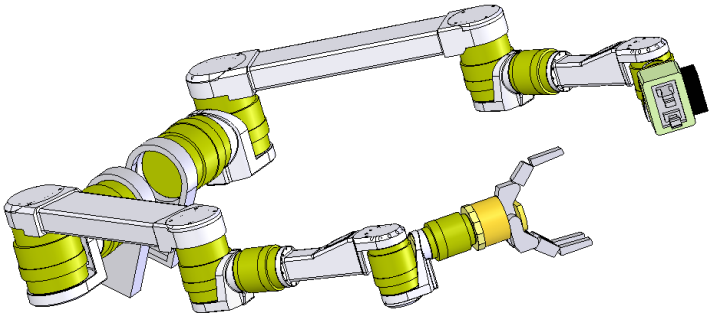
Фиг. 2.22. Кинематичен модел на модулен манипулатор с шест степени на подвижност на робота RESCUER

В автоматичен режим, програмата за управление разчита на обратните връзки от модулите, които съпоставя с кинематичния модел на манипулатора. За да се осъществи този режим е необходимо да се разработи кинематичен модел на реконфигуруемата модулна манипулаторна система на робота Rescuer.

Кинематиката на манипулатора е един от фундаменталните въпроси в роботиката [47, 26]. Тя изучава геометричните му движения по отношение на фиксирана референтна координатна система, без да разглежда силите и моментите пораждащи това движение. Методът на Деневит и Хартенберг (D-H метод) [26] е основан на хомогенни трансформации чрез матрици (4x4) и е широко използван в роботиката, защото с помощта на минимален брой компоненти изразява промяната в ориентацията и положението от една става на манипулатора до следваща, което прави метода ефективен за изчисляване [47].



Фиг. 2.23
Паркирано положение на манипулаторите



Фиг. 2.24
Работно положение на манипулаторите

Резултати от кинематичния анализ

Кинематичният модел е разработен с цел да се определят положенията на изпълнителните звена спрямо базовата координатна система (съвпадаща с челото на мобилния робот) след извършване на offset процедура за ъгъл Θ_i при паркирано положение на манипулатора, както е показано на Фиг. 2.23, и извеждането им в работен режим (Фиг. 2.24), където промяната на ъгъл Θ_i е изчислена както следва - за ляв манипулатор: Θ_1 = - 150; Θ_2 = 15; Θ_3 = + 150; Θ_4 = 0; Θ_5 = - 135; Θ_6 = + 90, и за десен манипулатор: Θ_1 = +150; Θ_2 = + 15; Θ_3 = -150; Θ_4 = 0; Θ_5 = +135; Θ_6 = 0;

Изводи от кинематичния анализ

От анализа на правата кинематична задача за променливите ъгли Θ_i на всеки един от манипулаторите на робота Rescuer се получават позициите на изпълнителните звена спрямо базовата координатна система. Този метод въведен в системата за управление на мобилни роботи позволява на оператора да отчете абсолютното положение на хващачите спрямо базовата координатна система на манипулаторите.

Мобилният робот с реконфигуруеми модулни манипулатори Rescuer, работи в неструктурирана среда. Той търси обекти, за които няма представа нито каква форма, нито какви координати имат. В робота е монтирана система за стерео зрение, която определя позиции, координати, абсолютни координати на обекта, който трябва да бъде захванат от системата за манипулиране. D-H трансформациите дават текущите координати на изпълнителното звено, а те от своя страна представляват задание към системата за манипулиране. Това е необходимо, за да могат да се трансформират ставните координати и изпълнителното звено да бъде позиционирано на мястото за захващане.

На базата на D-H трансформациите се изчисляват текущите координати – ставни и крайни координати на изпълнителното звено на реконфигуруемия модулен манипулатор.

2.5 Изследване на колебателните затихващи преходни процеси на модулен манипулатор на мобилен робот

Една от задачите в настоящата работа е да се изследват колебателните затихващи преходни процеси, възникващи при освобождаване на товара в изпълнителния елемент на модулен манипулатор на мобилния робот Rescuer.

Трептене е движение, което се извършва около определено равновесно положение и се повтаря с течение на времето. В дисертацията се разглеждат само свободните трептения, които са колебателни затихващи преходни процеси.

Преходният процес, под форма на затихващи механични трептения, възниква под действието на инерционни натоварвания при освобождаване на манипулирания обект от хващачите на манипулаторите и довежда до провисване в изпълнителното му звено. За планиране на траекторията е необходимо да се знае амплитудата на трептенията в точката на позициониране.

Механо-математичния модел на системата Rescuer е създаден като приведен едномасов модел, а външното въздействие е прието за кинематично и е приложено към хващача на манипулатора. Ще се разгледа динамичното натоварване на механичната конструкция. Тя представлява роботизирана механична система, която създава трептения при освобождаване на манипулирания товар. Най-често тези механични колебания имат голяма честота и малка амплитуда. Ще се разгледат две положения на робота:

- <u>Построяване на динамичен модел на модулен манипулатор на мобилен робот за спасителни работи и обезвреждане на взривове Recuer без да се отчита влиянието на податливостта в еластичните елементи на системата на окачване.</u>

Деформиращите се елементи в мехатронната система са: манипулатора изобразен като конзола на която има съсредоточена маса $m_м$ Фиг. 2.29 а; и веригите на робота заменени с пружини Фиг. 2.31. Показаният динамичният модел на Фиг. 2.29 е едномасов с основни параметри: $m_м$ приведена маса на манипулатора и k1 – е приведен коефициент на еластичност на системата преведен към хващача на манипулатора. Приема се, че ходовата част на робота не извършва движение по време на идентифициране на механичните трептения.

Манипулатора на робота се представя като конзолна греда неподвижно закрепена от едната страна за робота [83]. Конзолата (Фиг.2.29а) се заменя с еквивалентна пружина с коефициент на еластичност $k_1, N/m$:

$$k_1 = \frac{3EJ}{l^3} \tag{32}$$

където E е модул на еластичност, J инерционен момент, а l е дължина на рамото на прилагане на съсредоточената маса.

Движението на хващача на манипулатора с приведена маса $m_м$ след освобождаване на товара $m_т$, се определя като се разглежда втория принцип на динамиката.

Уравнение (37) е диференциалното уравнение на затихващо трептение на хващача на манипулатора:

$$\ddot{x} + \frac{r}{m_м}\dot{x} + \frac{k_1}{m_м}x = 0 \tag{37}$$

Полагаме $\frac{r}{2m_м} = \beta$, където β е коефициент на затихване, а $\sqrt{\frac{k_1}{m_м}} = \omega_0$ е собствена честота на трептящата система.

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \tag{37.4}$$

Това е линейно хомогенно уравнение от втори ред. Записва се характеристичното уравнение:

$$\rho^2 + 2\beta\rho + \omega_0^2 = 0 \tag{37.5}$$

Корените на характеристичното уравнение са $\rho_{1,2} = -\beta \pm \sqrt{\beta^2 - {\omega_0}^2}$ (37.6)

Когато $\omega_0 > \beta$, (съпротивлението е малко в сравнение със силата на еластичност), корените са комплексни числа $\rho_{1,2} = -\beta \pm i\sqrt{{\omega_0}^2 - \beta^2}$ и процеса ще бъде периодичен затихващ с период:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m_м}{k_1}} \tag{37.7}$$

Решението на диференциалното уравнение на затихващите трептения на хващача на манипулатора е:

$$X(t) = A_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi) = A\,cos(\omega t + \varphi) = e^{-\beta t}(C_1\cos\omega t + C_2\sin\omega t) \tag{38}$$

Скоростта на манипулатора при трептене се получава с диференциране по времето на (38).

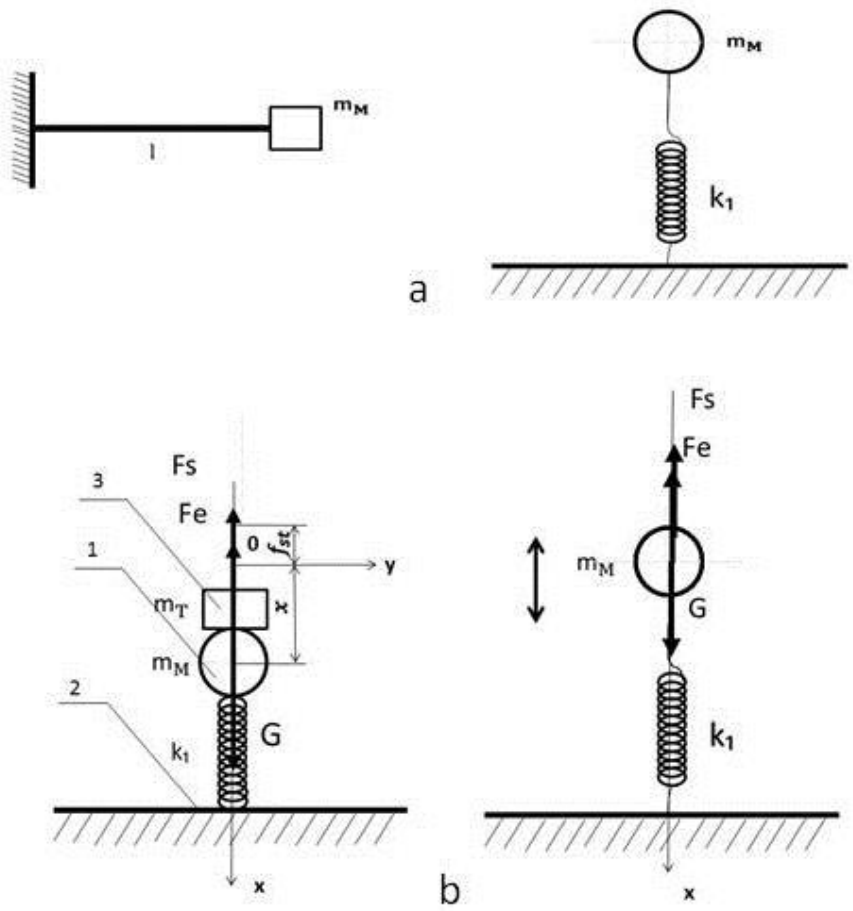
$$\dot{X(t)} = -\beta e^{-\beta t}(C_1 \cos\omega t + C_2 \sin\omega t) + e^{-\beta t}\omega(-C_1 \sin\omega t + C_2 \cos\omega t) \qquad (39)$$

Където ω се нарича честота на затихващите трептения и е равна на:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \text{ rad/s} \qquad (38.1)$$

Законът за движение на изпълнителният елемент на манипулатора, когато не се отчита влиянието на податливостта в еластичните елементи в системата на окачване е:

$$X(t) = e^{-\beta t}\left(\frac{m_T g}{k_1}\cos\omega t + \frac{m_T g \beta}{k_1 \omega}\sin\omega t\right) \qquad (39.6)$$



Фиг. 2.29 Модел на модулния манипулатор на робота Rescuer без да се отчита влиянието на податливостта в еластичните елементи в системата на окачване
1 – манипулатор; 2 – основа; 3 – товар с маса 5 kg

- <u>Построяване на динамичен модел на мобилен манипулатор на мобилен робот за спасителни работи и обезвреждане на взривове Recuer с отчитане влиянието на податливостта в еластичните елементи в системата на окачване</u>

Манипулаторите са монтирани на мобилна платформа с верижно задвижване. Поради изискванията за висока проходимост на робота, мобилната платформа има система от амортисьори и пружини, които гарантират стабилността на робота при

движение по силно пресечен терен. Тази система на окачване оказва негативно влияние на равновесното положение на изпълнителните звена на манипулаторите, особено, когато робота освобождава своя товар. Еластичните елементи в системата на окачване на робота са заменени с пружини (Фиг.2.31).

На Фиг. 2.31 е представен динамичният модел на системата съдържащ: манипулатора с приведена маса $m_м$ закачен за пружина с коефициент на еластичност k_1 и неподвижно закрепен за тялото на робота с маса mp. Окачването на робота е заменено с пружини с коефициенти на еластичност k_2 и k_3. Показаният модел е едномасов с една степен на свобода, с възможност за движение по направление на оста X. Движението на масата m може да бъде описано само с едно линейно диференциално уравнение от втори ред, тъй като системата има само една степен на свобода.

При механични колебания тялото на робота може да остане хоризонтално, но може и да се наклони под определен ъгъл. Затова ще бъдат разгледани и двата варианта:

a) Тялото на робота остава хоризонтално при механичните колебания (Фиг.2.31 а).

Заменят се трите пружини с една еквивалентна пружина с коефициент на еластичност k, така че масите на системата да извършват механични трептения със същата честота. Първо се заменят двете успоредните пружини с коефициенти на еластичност k_2 и k_3 с еквивалентна пружина с еластичност $k_{2,3}$. Като се има в предвид, че $k_2 = k_3$ и двете пружини са разположени на равни разстояния от оста x на робота:

$$k_{2,3} = k_2 + k_3 \qquad (42)$$

След това разглеждаме двете последователно разположени пружини $k_{2,3}$ и k_1. Приведеният еквивалентен коефициент на еластичност на пружините е:

$$k = \frac{k_{2,3}k_1}{k_{2,3}+k_1} = \frac{3EJk_{2,3}}{3EJ+k_{2,3}l^3} \qquad (43)$$

Коефициента на еластичност $k_{2,3}$ на окачването на мобилния робот се получава опитно чрез описания в дисертацията експеримент.

b) Тялото на робота не остава хоризонтално при механичните колебания (Фиг.2.31в).

В началото успоредните пружини k_2 и k_3 ще бъдат заменени с една еквивалентна пружина с коефициент на еластичност $k_{2,3}$. Двете пружини са разположени на равни разстояния до точка D.

От равенството на моментите и силите F_{e_2} и F_{e_3} относно точка D, се получава:

$$k_2x_2 = k_3x_3 \qquad (44)$$

където x_2 и x_3 е деформацията на пружината. Деформацията на еквивалентната пружина:

$$k_{23} = k_3\frac{x_3}{x_{2,3}} + k_2\frac{x_2}{x_{2,3}} = k_3\frac{2k_2}{k_2+k_3} + k_2\frac{2x_3}{x_{2,3}} = \frac{4k_2k_3}{k_2+k_3} \qquad (44.10)$$

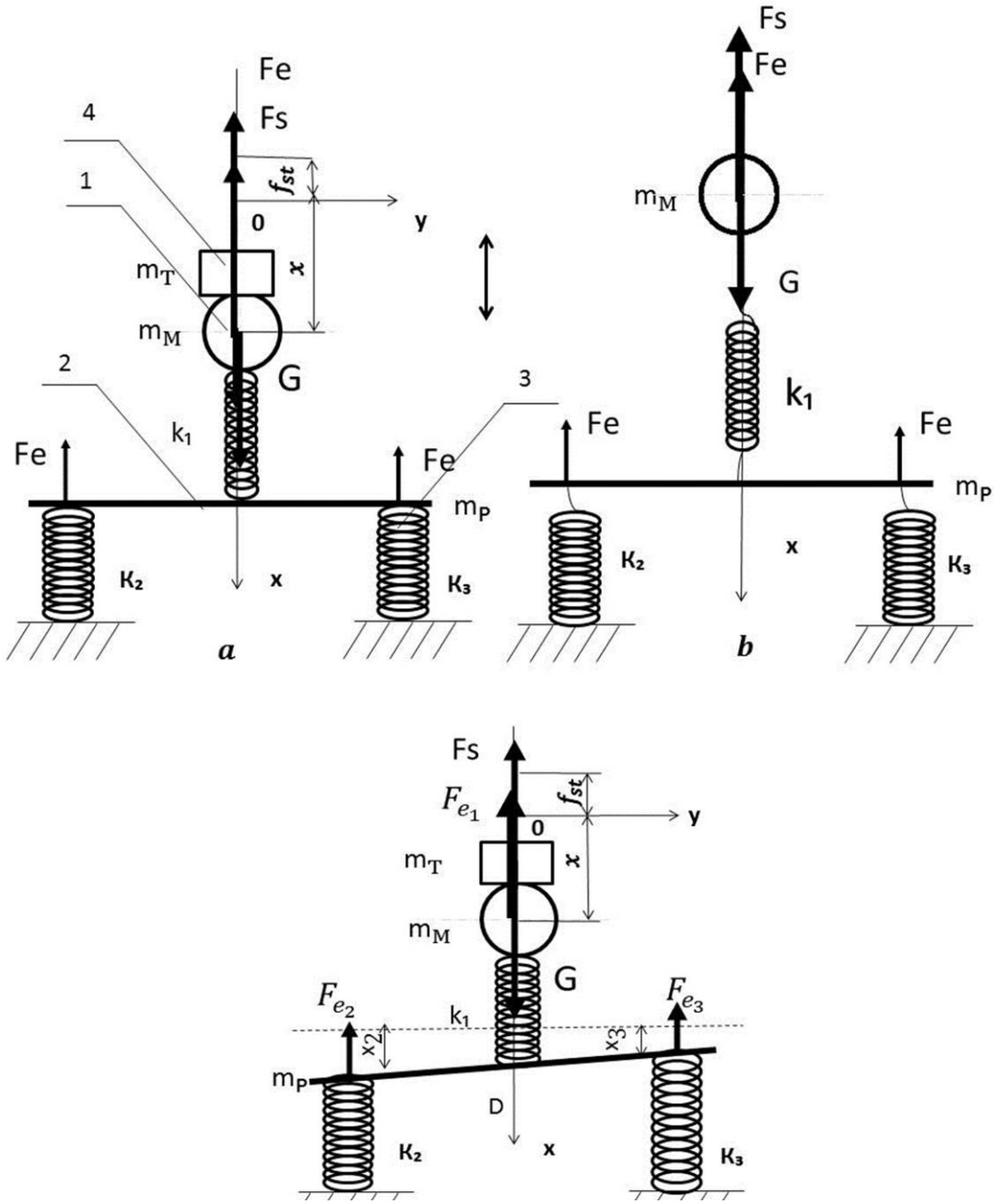
След като е получен еквивалентният коефициент на еластичност k_{23} се намира еквивалентния коефициент k при последователно разположените пружини k_{23} и k_1.

$$k = \frac{k_{23}k_1}{k_{23}+k_1} = \frac{4k_1k_2k_3}{(k_2+k_3)\frac{4k_2k_3}{k_2+k_3}+k_1} = \frac{4k_1k_2k_3}{4k_2k_3+k_2k_1+k_1k_3} = \frac{12EJk_2k_3}{4k_2k_3+(k_2+k_3)3EJ} \qquad (44.15)$$

Когато $\omega_0 > \beta$, съпротивлението е по-малко в сравнение със силата на еластичност, корените са комплексни числа $\rho_{1,2} = -\beta \pm i\sqrt{\omega_0{}^2-\beta^2}$ и процеса е периодичен затихващ с период:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{(m_p + m_м)}{k}} \qquad (45.14)$$

А диференциалното уравнение на затихващите трептения на хващача на манипулатора ще има решение:



Фиг.2.31 Модел на модулния манипулатор на робота Rescuer с отчитане влиянието на податливостта в еластичните елементи в системата на окачване

1 - манипулатор; 2 – мобилен робот; 3 – система на окачване на робота; 4 – товар с маса 5 kg

$$X = A_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi) = e^{-\beta t}(\mathrm{C}_1\cos\omega t + \mathrm{C}_2\sin\omega t) \quad (45)$$

$$\dot{X} = -\beta e^{-\beta t}\, e^{-\beta t}(\mathrm{C}_1\cos\omega t + \mathrm{C}_2\sin\omega t) + e^{-\beta t}\omega(-\mathrm{C}_1\sin\omega t + \mathrm{C}_2\cos\omega t) \quad (46)$$

Интеграционните константи C_1 и C_2 се определят като се използват граничните условия - положението и скоростта на манипулатора в началния момент на движението. Законът за движение на манипулатора с отчитане влиянието на податливостта в еластичните елементи в системата на окачване е:

$$X(t) = e^{-\beta t}\left(\frac{\mathrm{m_T} g}{k}\cos\omega t + \frac{\mathrm{m_T} g\beta}{k\omega}\sin\omega t\right) \quad (46.2)$$

Чрез създадения динамичен модел на манипулатора на мобилен робот Rescuer е получен закона за движението му, описващ процеса на затихване на механичното трептене на изпълнителния елемент - хващача – като преходен процес, влияещ върху равновесното положение на изпълнителното звено. Пружинените елементи на мобилната платформа, които могат да бъдат изразени чрез техните коефициенти на еластичност, определят преходните процеси, възникващи в изпълнителното звено на робота. Изведеният закон за движение на изпълнителното звено на манипулатора цели, да бъдат определени коефициентите на еластичност на окачването на мобилната платформа, чрез заместване в него на емпирично получени данни по експериментален път.

ГЛАВА III ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОТКЛОНЕНИЕТО ОТ РАВНОВЕСНО ПОЛОЖЕНИЕ НА МОБИЛЕН МАНИПУЛАТОР, НЕГОВАТА ЕЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ И КОЛЕБАТЕЛНИТЕ ЗАТИХВАЩИ ПРЕХОДНИ ПРОЦЕСИ, КОИТО ПОЛЕЗНИЯТ ТОВАР ПРЕДИЗВИКВА

В дисертацията е представено изследване върху възможността за използване на оптичен метод за определяне на отклоненията от равновесно положение на изпълнителното звено на мобилен робот за спасителни операции, породени от окачването на мобилната платформа и еластичните деформации в звената. Влиянието на хлабините в ставите е игнорирано поради технологичните особености на модулите, а отклонението от равновесна позиция ще се изследва експериментално с помощта на система от лазерни лъчи, монтирани на изпълнителното звено.

Спасителните роботи и тези, предназначени за обезвреждане на взривове, са създадени да изпълняват конкретни функционални задачи. При тях движенията не са строго дефинирани и няма предварителни траекторни или пространствени криви, които манипулаторите и изпълнителното звено на роботите да следват. Възможността за следване на желаната траектория се осигурява чрез директно водене на манипулаторите от оператор. Това е постигнато конструктивно, като се използват подходящи по функционалност и структура манипулационни механизми и системи за управление. При всички случаи обаче, се наблюдават отклонения от реалната и зададената

траектории на движение [2]. Тези неточности се пораждат от еластичните деформации в звената и връзките на манипулаторите, както и от податливостта в еластичните елементи в системата на окачване на мобилният робот. Еластичните деформации са различни при различните натоварвания на манипулаторите.

При мобилните роботи за спасителни операции и обезвреждане на взривове постигането на определена точност при позициониране както на целия робот, така и на изпълнителното му звено е свързано с визуално следене и коригиране на грешките в реално време. За дефинирането на грешките в положението на изпълнителното звено се разчита основно на обратна връзка основана на видео наблюдение чрез камери монтирани на робота и манипулатора. Този метод не позволява отчетливо да се видят отклоненията породени от еластичните деформации на звената и пружинените елементи в окачването на мобилната платформа. При мобилните роботи за спасителни операции и обезвреждане на взривове именно провисването породени от еластичните деформации на връзките и звената формират основната част от грешки в изпълнителното звено. За да бъдат регистрирани тези грешки и компенсирани от оператора по време на работа се изисква предварително измерване на отклонението от равновесното положение на изпълнителното звено. Незнанието на това отклонение може да окаже много неблагоприятен ефект в процеса на експлоатация на робота.

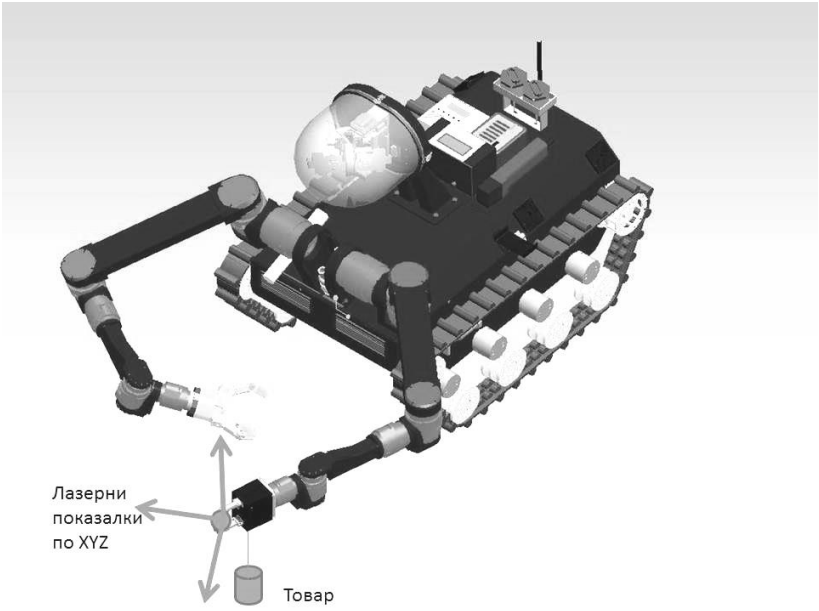
Съществуват множество методи и средства за определяне и измерване на еластичната деформация в манипулатори. Съществуват и средства за директно компенсиране на този тип деформации. При мобилните роботи за спасителни работи и обезвреждане на взривове това компенсиране е възможно с предварително познаване на отклоненията, които биха възникнали при различни товари.

3.1 Метод за определяне на отклонението от равновесно положение на изпълнителното звено на манипулатор на мобилен робот породено от еластичните деформации в звената на манипулатора и системата на окачване на робота

Задачата на настоящето изследване е да се дефинира лесен, но ефективен подход за определяне на отклонението от равновесно положение на изпълнителното звено (при различни товари) на мобилна манипулационна система за спасителни операции и обезвреждане на взривове, породени от податливостта на окачващата система на робота и от еластичните деформации на звената и връзките на манипулаторите.

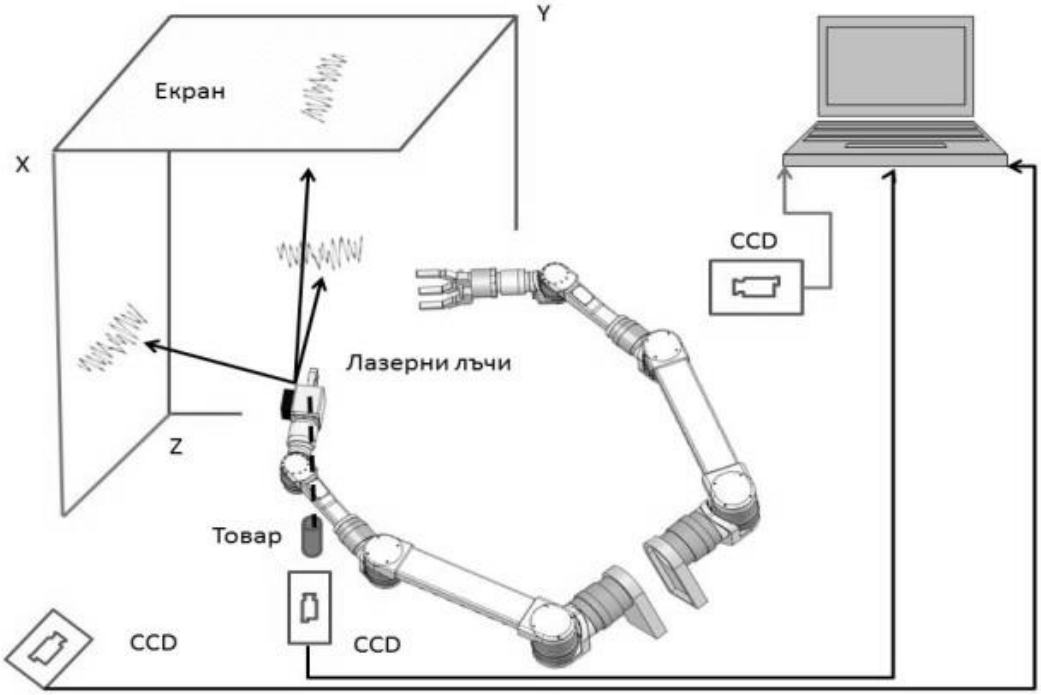
3.1.1 Методика и условия за провеждане на експеримента

Предлаганото в дисертацията измерване на отклонението от равновесна позиция на манипулаторите на мобилният робот RESCUER е основано на безконтактен оптичен метод. При него в качеството на сензори са използвани система от 3 перпендикулярно разположени лазерни показалки (Фиг. 3.2) които са базирани в изпълнителния елемент на робота.



Фиг. 3.2 Разположение на лазерните показалки

Като измервателно средство се използва система от три взаимно перпендикулярни цифрови камери (Фиг.3.3), които следят проектираното от лазерите изображение. Експеримента протича в две части.

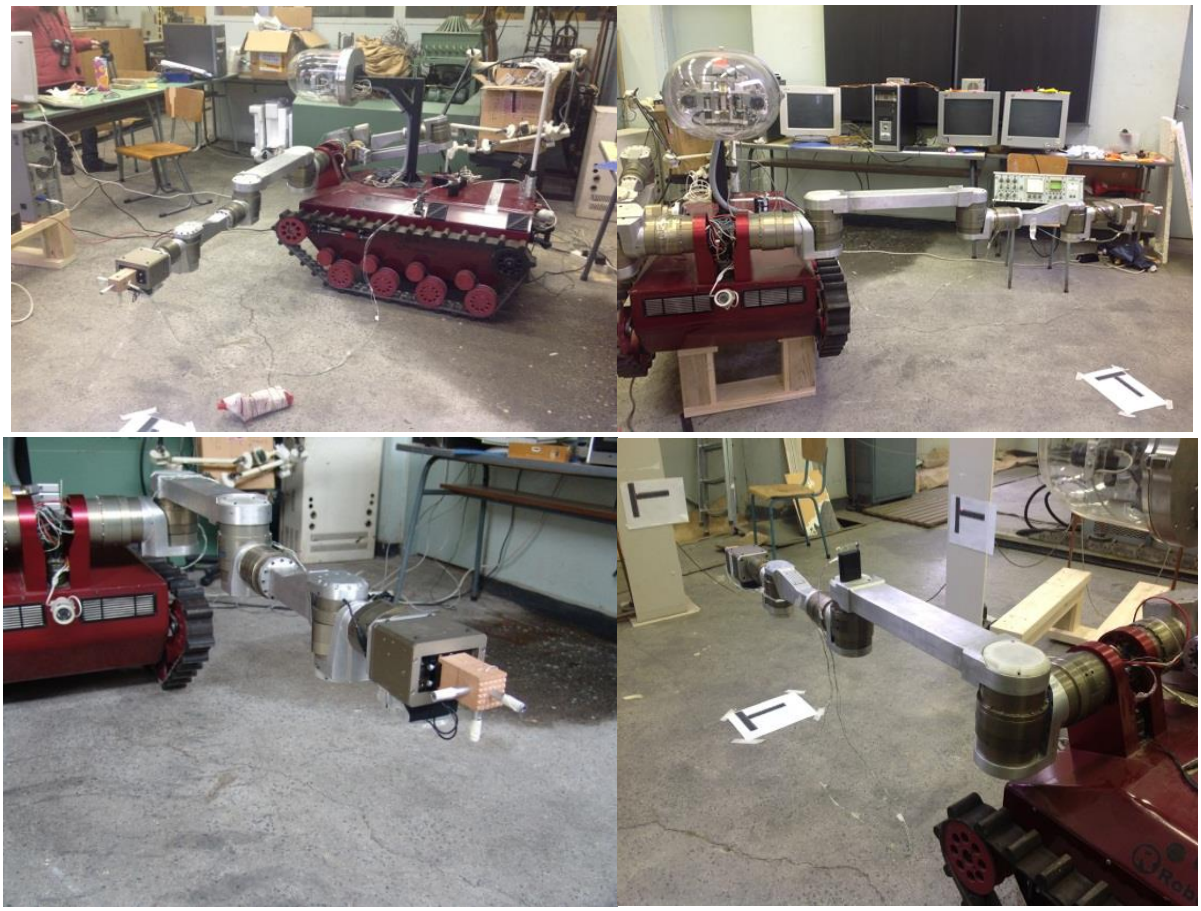


Фиг. 3.3 Принципна схема на опитната установка

В първата част робота се повдига на платформа, за да се избегне влиянието на окачващите елементи. Манипулатора се предвижва в изходна позиция и се привежда в покой. Камерите записват положението на изпълнителното звено по трите оси на координатната система. Към изпълнителното звено се прикачва товар и камерите записват, преместването на изпълнителното звено в резултат на еластичните деформации в манипулатора.

Втората част на експеримента е повторение на първата, но при участие на окачващата система на мобилния робот.

Този експериментален метод на измерване позволява да се получи пространствен модел на отклонението от равновесно положение на манипулатори със сложна кинематична структура. Получените по този начин резултати позволяват да се изгради тримерен модел на грешката от повторяемост при позициониране на изпълнителното звено.

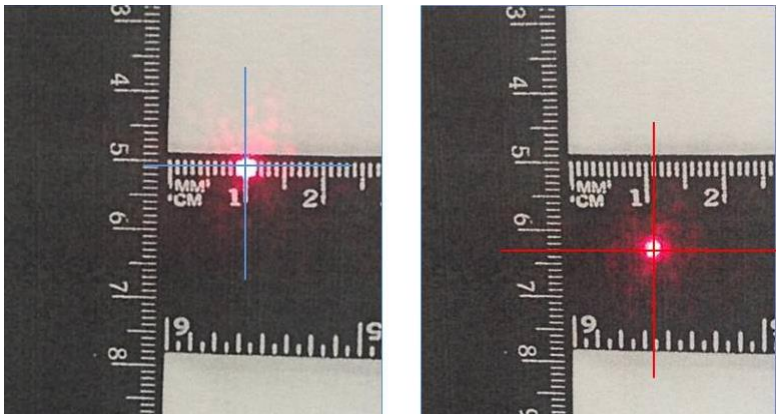


Фиг. 3.4 Опитна установка за определяна влиянието на еластичната деформация върху грешката от повторяемост

Самата опитна установка е показана на Фиг. 3.4. Системата от три, взаимно перпендикулярни лазерни лъчи е монтирана на мястото на пръстите на захващащия механизъм на манипулатора. Чрез системата за управление манипулатора се позиционира в желаната позиция за измерване. Избрани са две критични позиции на манипулатора – максимално разгънат по дължина на веригата и максимално разгънат в положение перпендикулярно на веригата. Тези позиции се повтарят при две постановки. В първата постановка робота е стъпил на веригите си докато при втората

постановка робота е легнал с дънната си платформа върху скара, като по този начин се игнорира влиянието на окачването му върху положението на изпълнителното звено на манипулатора.

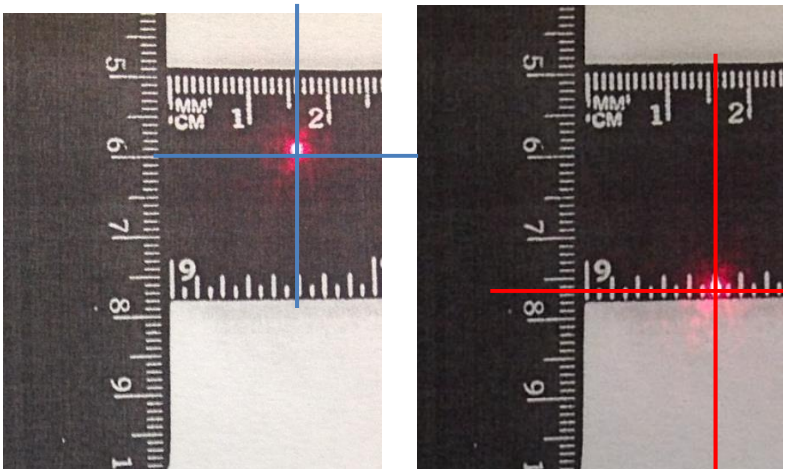
Робота RESCUER бе поставен на специална платформа подобна на крик, така, че да се игнорира влиянието на еластичните елементи в неговото окачване. След позициониране на манипулатора в максимално изтеглено състояние успоредно на посоката на ротация на веригата бяха извършени серия от 50 двойки експерименти. Всеки експеримент се състои от две измервания показани на Фиг. 3.10.



Фиг. 3.10 Отклонение по ос z на манипулатор позициониран напред с игнорирано влияние на окачването

а) показание без товар ***б) показание с 5 kg. товар***

Със син маркер е отбелязано началното положение по ос Z на изпълнителното звено. След добавяне на товар от 5 kg. в точката на захват е измерено изместването (с червен маркер) на изпълнителното звено. Това изместване се получава като резултат от еластичната деформация на манипулатора. След освобождаване на товара отново се отчита началното положение на изпълнителното звено и опита се повтаря. Резултатите от опитите се въвеждат в таблица.



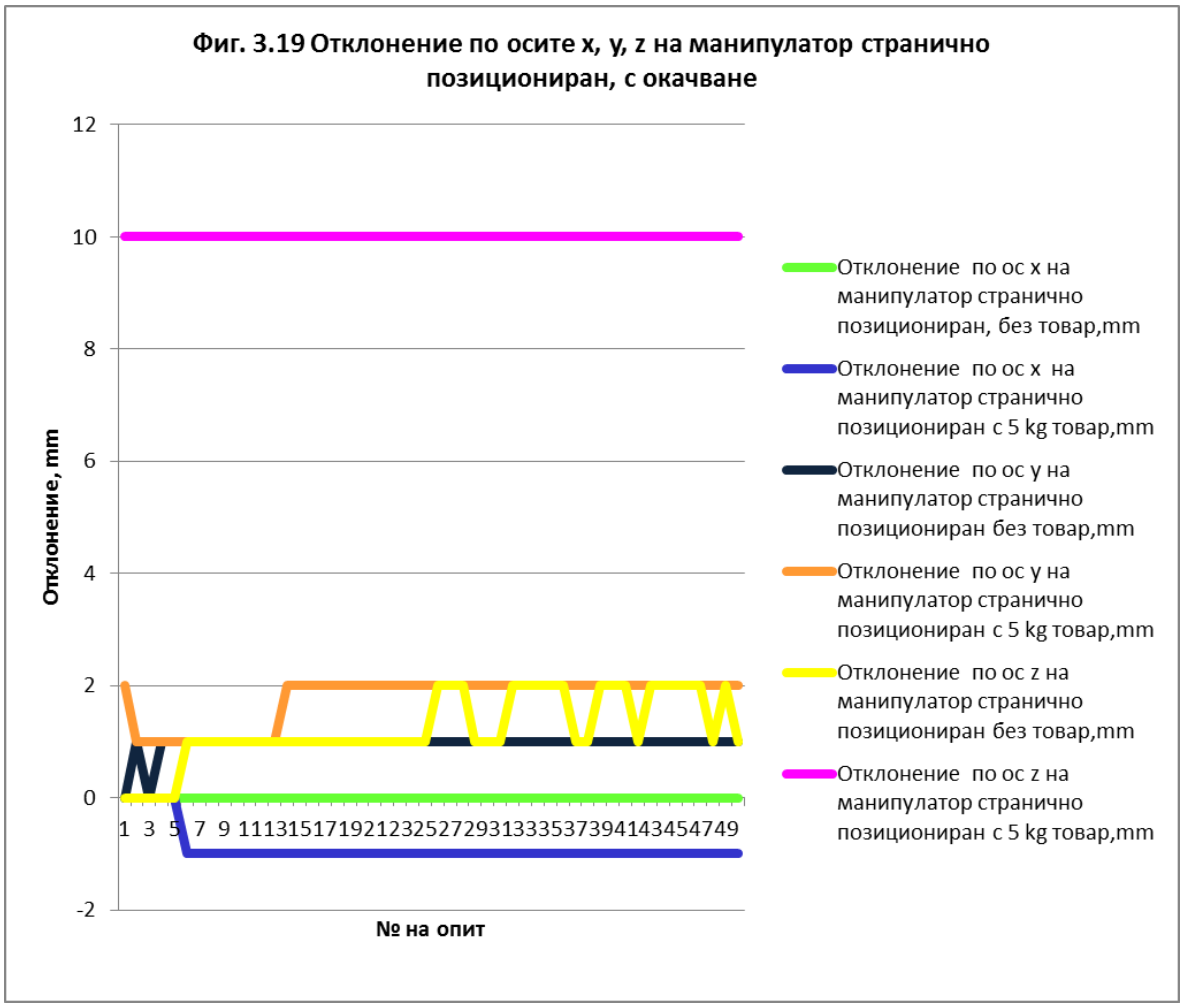
Фиг. 3.11 Манипулатор позициониран напред с влияние на окачването

а) показание без товар ***б) показание с 5 kg товар***

Същата процедура се повтаря след като робота се снеме от платформата и стъпи на веригите си. Пример на отчетено положение с и без товар е показан на Фиг. 3.11 Целия цикъл от опити се повтаря и при позициониране на манипулатора в направление перпендикулярно на посоката на ротация на веригата като резултатите от отчитанията се записват в таблица и се представени в графичен вид.

3.1.2 Анализ на резултатите от експеримента

Графичното представяне на резултатите от проведения експеримент позволява най-лесно да се анализира влиянието на еластичната деформация в елементите на манипулатора и елементите от окачването на робота върху грешката от повторяемост. Резултатите от измерванията се записват в таблици (Приложение 1) и служат за създаването на аналитични графики.

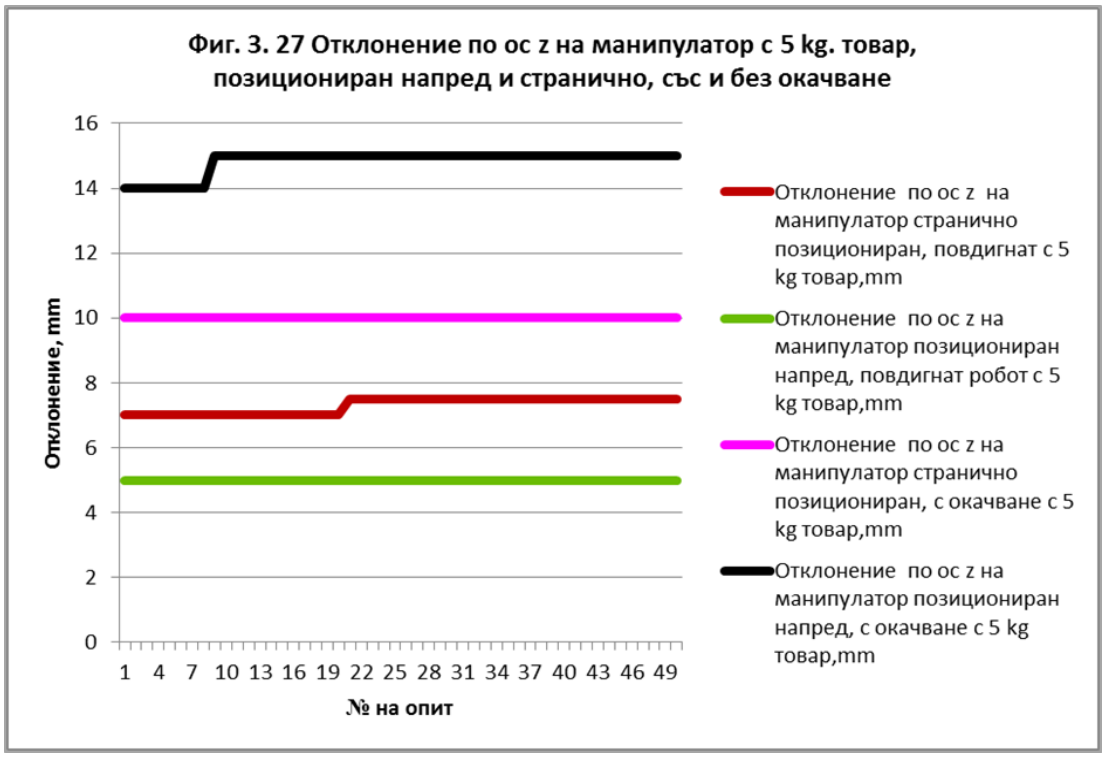


От графиката на Фиг. 3.19 е видно, че най-големите еластични деформации се отчитат по ос Z, но също така трябва да се отчете, че деформации се наблюдават и по другите оси. Тези деформации са резултат от усукването което силата на товара предизвиква в робота. Тази сила обира хлабините в окачването и изпълнителния елемент на манипулатора не успява да възстанови първоначалното си пространствено положение

след освобождаване на товара. От експеримента се вижда, че обирането на хлабините става постепенно и добива относително постоянни размери след шестия опит. Въпреки това с достатъчна достоверност може да се твърди, че оператора трябва да се съобрази с обстоятелството, че манипулатора няма да възстанови своето начално положение на изпълнителното звено след като товара бъде освободен. Оператора трябва да се съобрази и с това, че когато захване товар първо ще „обере“ еластичната деформация в цялата система на окачване и едва след това ще повдигне манипулирания обект. При странично позиционирен манипулатор и товар от 5 kg. този „мъртъв“ ход на манипулатора ще е от порядъка на 10 mm.

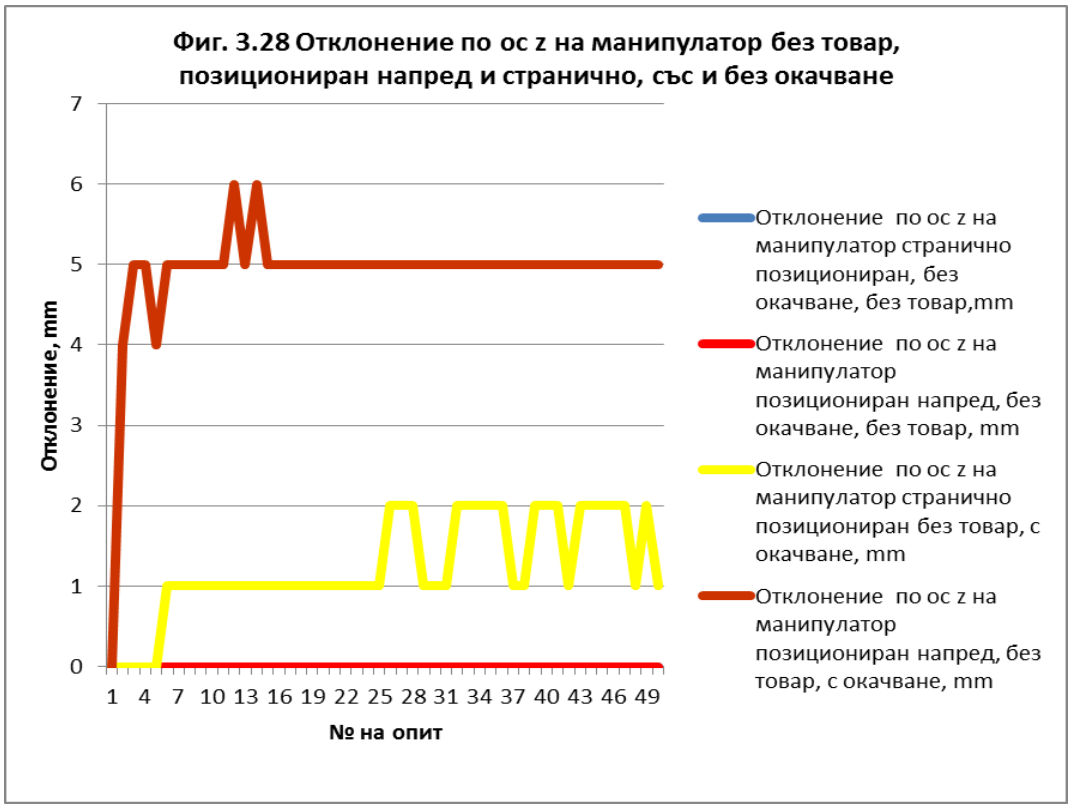
Влиянието на окачването се вижда най-добре от сравнителната графика показана на Фиг. 3.20. Когато манипулатора е позициониран напред са активни почти всички елементи на окачването, които повлияват на грешката от позициониране. Типа на окачване на мобилния робот, който е съобразен с необходимостта робота да преодолява препятствия, прави робота по нестабилен по отношение на залюляването му напред-назад, отколкото странично залюляване. Това залюляване напред-назад не е симетрично по надлъжната ос на робота и зависи от разпределението на товара му. В конкретния случай на експеримента и както е видно от графиката, разгъването само на левия манипулатор създава асиметричност в натоварването на конструкцията на робота което води до усукване на манипулатора заедно с еластичното му провисване.

От Фиг. 3.20 се вижда, че не само по ос Z се наблюдават отклонения от равновесното положение, но такова се наблюдава и по другите две оси на координатната система.



От графиката 3.27 се виждат отклоненията от началното положение на изпълнителното звено на манипулатора с приложен товар от 5 килограма. Най-голямото отклонение е при позициониран напред манипулатор. То достига 15 mm, когато е включено влиянието на окачването. За сравнение отчетените стойности при същия експеримент, но с игнориране на окачването са 5 mm. Това показва, че грешката от позициониране породена от окачването на мобилната платформа е 10 mm. От друга страна ако сравним отчетената експериментална стойност с получената чрез компютърна симулация еластична деформация се вижда, че разликата между стойностите е много малка, което показва че предложеният метод може да се приеме за достоверен.

Възстановяването на равновесното положение на манипулатора след освобождаване на товара се наблюдава на графика 3.28. Когато разглеждаме манипулатора като закрепен към стабилна неподвижна база, той винаги възстановява своето първоначално положение. Това се дължи на факта, че в този случай възникват само еластични деформации в звената, тъй като модулите са с висок клас на точност и в редукторите им няма хлабини. Докато при отчитане влиянието на окачването, манипулатора не е в състояние да възстанови първоначалното си положение. И в двата случая на позициониране се наблюдава провисване, като то е значително по – голямо при позиционирания напред манипулатор. Този неблагоприятен ефект се дължи на обирането на хлабините на робота в системата на окачване.



Обобщени изводи от проведения експеримент за определяне провисването на изпълнителното звено, породено от еластичната деформация в манипулатора и окачването на робота:

1. Ако се игнорира окачването на робота, и манипулаторът се натовари статично с номинално допустимия товар, за който е проектиран (5kg.), то в него се наблюдават само еластични деформации, като манипулаторът възстановява напълно равновесното си положение след освобождаване на товара;
2. Ако се игнорира ефекта на окачване, то манипулаторът има по-малко провисване при позициониране в работното си пространство пред робота, отколкото в това пространство странично от робота;
3. Окачването на робота удвоява отклонението от равновесно положение, поради еластичността на пружинените механизми;
4. След определен брой повторения на захващане на товар се наблюдава натрупване на грешка в пружинените механизми на окачването (омекване) и манипулаторът вече не е в състояние да възстанови своето начално положение без товар. Тази грешка достига своя екстремум в даден опит, след което остава постоянна;
5. По време на експеримента се констатира нагледно възникването на трептения в изпълнителния елемент на манипулатора, след освобождаване на товара. Те се дължат на еластичните сили, както на манипулатора, така и на окачването на робота. Тези трептения могат да имат нежелателен ефект при опериране с и манипулиране на опасни товари. Това изисква да се изследват преходните процеси които възникват в изпълнителното звено на манипулатора при

освобождаване на товар и да се определи по какъв начин окачването повлиява на тези преходни процеси.

От направената опитна установка може да се заключи, че идентифицирането на отклонението от равновесна позиция на изпълнителните елементи при роботите за обезвреждане на взривове и спасителни операции, е ефективен метод за повишаване сигурността на работа. Предложеният метод е предвиден за мобилни роботизирани системи, работещи с относително неточни методи на управление (телеуправление), като чрез него могат да се установят провисванията на хващачите при захващане на товари с различна маса. Методът сравнително точно определя еластичните деформации породени от пружините в окачащата система на робота, задача трудна за симулиране при системи със сложни кинематични схеми. Друг положителен ефект от прилагането на този метод е ниската му себестойност и бързото обработване на получените резултати.

3.2 Измерване на затихващите колебателни преходни процеси в изпълнителното звено на модулен манипулатор на мобилен робот

Както многократно бе посочено по горе в дисертацията, познаването на преходните процеси, през които преминава изпълнителното звено на робот за обезвреждане на взривове, е от голяма важност за дефиниране на неговите манипулационни способности. Роботът Rescuer е проектиран да манипулира товари до 5 kg. Необходимо е да бъдат изследвани процесите, които еластичните сили в манипулатора и окачването му, пораждат в изпълнителното звено при освобождаване на товара. Познаването на тези процеси ще позволи на специалистите по обезвреждане на взривове да определят експлоатационните възможности на робота Rescuer.

За измерване на затихващите колебателни преходни процеси, които за целите на измерването се характеризират като вибрации, е необходимо да се отчетат величините, които характеризират вибрациите - вибропреместване и неговите производни спрямо времето виброскорост и виброускорение. В теорията на трептенията [9] се разглеждат линейни и ъглови трептения. Параметрите, характеризиращи линейната вибрация са: вибропреместване, виброскорост и виброускорение [31], а параметрите, описващи ъгловата вибрация са: ъгъл на завъртане, ъглова скорост и ъглово ускорение.

3.2.1 Опитна установка за измерване на вибрации в изпълнителното звено на модулен манипулатор

На мястото на двупръстият хващач се поставя куб с неподвижно закрепени за него три сензора с пиезоелектрически чувствителни елементи (Фиг.3.29), разположени в три взаимно перпендикулярни равнини. Към манипулатора на робота се прикачва товар с големина 50 N, изчаква се системата да се успокои и товара се освобождава. В резултат на това работния орган на робота извършва механични вибрации, които се измерват от уреда за измерване на вибрации Robotron 00 033 [3].

Фиг. 3.29 Опитна уредба за измерване на вибрациите в хващача на модулен манипулатор

Целта на измерването е да се определи дали системата на окачване на робота Rescuer оказва негативно влияние на равновесното положение на изпълнителните звена на манипулаторите, когато робота освобождава своя товар.
Уреда за измерване на вибрации Robotron [3] се използва за измерване на вибрационна скорост, вибрационно ускорение и вибрационна преместване (амплитуда) в честотния диапазон от 1 Hz до 20 kHz посредством три аналогови канала.

3.2.2 Методика и условия за определяне на преходните процеси в изпълнителното звено на мобилен робот с модулен манипулатор

Експеримента протича на два етапа, всеки с по две позиционни схеми. Етапите са свързани с позиционирането на манипулатора при мобилен робот стъпил на верижно окачване и мобилен робот поставен на платформа целяща игнориране ефекта на окачването. Позиционните схеми са:

- Вариант 1 при който манипулатора е позициониран в максимално разгънато състояние по ос успоредна на посоката на движение на веригата;
- Вариант 2 при който манипулатора е позициониран в максимално разгънато състояние по ос перпендикулярна на посоката на движение на веригата.

Целта на експеримента е да установи какво влияние оказва окачването върху еластичните трептения възникващи в изпълнителното звено на манипулатора при освобождаване на манипулирания товар. С цел постигането и са разгледани случаите на позициониране на манипулатора при които имаме най-голямо рамо и респективно възникващи най-големи моменти на натоварване в основата на манипулатора. Механичното трептене се характеризира със своите механични величини, те са: вибро скорост, виброускорение и вибропреместване (амплитуда). За всяка една позиция на манипулатора участваща в експерименталното изследване се извършват N на брой изследвания за всяка една от величините на механичното трептене по отделно.

Фиг. 3.31 Робот с верижно окачване и манипулатор разгънат по ос успоредна на посоката на движение на веригата

Фиг. 3.33 Робот поставен на платформа и манипулатор разгънат по ос перпендикулярна на посоката на движение на веригата

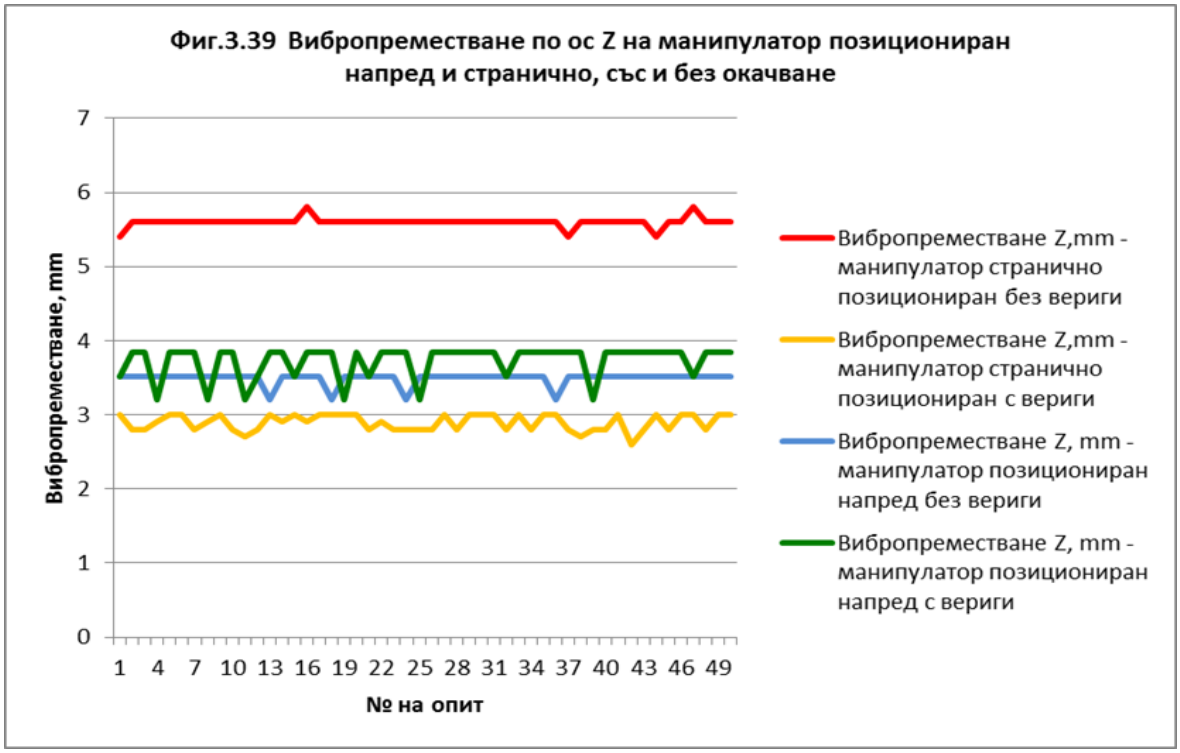
От сравняването на резултатите на измерванията получени в двата различни етапа на изследването може да се установи и онагледи влиянието на окачването на мобилния робот върху трептенията възникващи в изпълнителното звено на манипулатора.

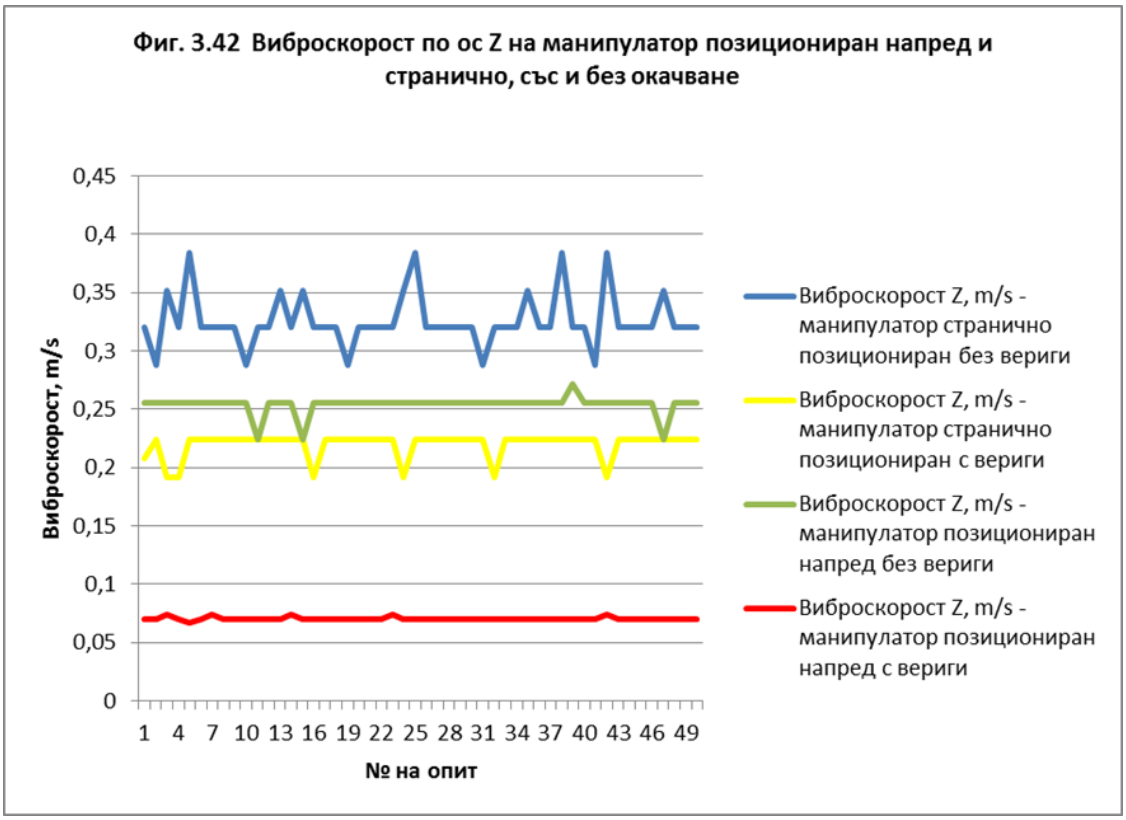
Експеримента бе проведен по начин сходен с измерването на еластичните деформации в манипулатора. За целта към манипулатора, в зоната на захващане се прикачва товар от 5 kg., който след успокояване на индикаторната стрелка на измерителния уред се освобождава. През времето на всеки един опит чрез видео камера се записва показанието отчетено от измерителния уред. След приключване на серията от опити чрез разглеждане на видео записите се отчитат точно показанията на уреда. Електронното отчитане позволява да се избегне субективния фактор при класическото директно визуално отчитане. Резултатите от измерванията се записват в таблици (Приложение 2) и служат за създаването на аналитични графики.

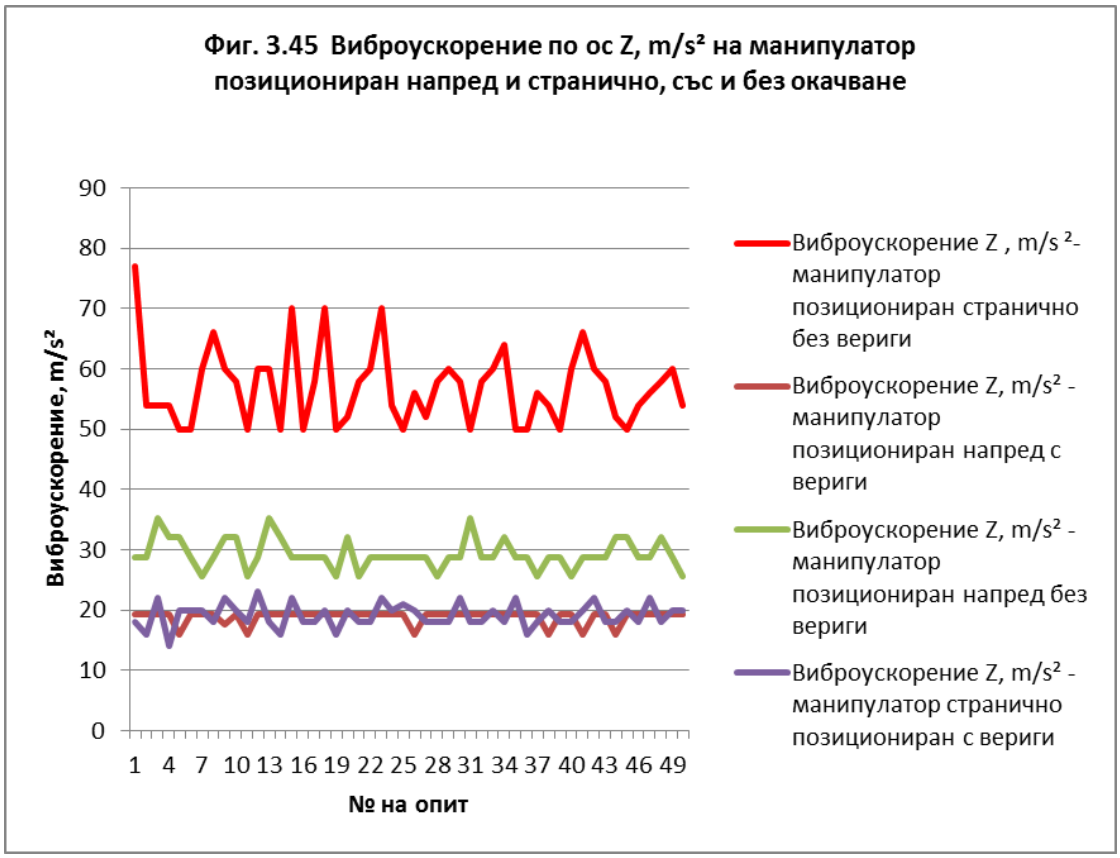
Предложеният експериментален модел в дисертацията по същество е универсален и приложим и за други мобилни роботи с модулни манипулатори.

3.2.3. Анализ на резултатите от експеримента за определяне на преходните процеси

Резултатите от измерванията са въведено в таблици. Тези таблици са представени в Приложение 2 към дисертационната записка.







Въз основа на табличното представяне на измерванията от серията експерименти които бяха проведени съгласно посочената по-горе методика, са съставени сравнителни

графики на разпределението на вибропреместванията, виброскоростите и виброускоренията които възникват в изпълнителното звено на манипулатора при освобождаването на товара който той носи.

От графиката 3.39 се вижда, че при различни положения на манипулатора графиките са различни. Това поведение се обуславя от еластичните сили и от породените от тях вибрации в манипулатора и робота като цяло. Противно на очакваното експеримента показа, че при манипулатор позициониран напред веригите и окачването имат благоприятен ефект върху възникващите трептения. Вибропреместванията по ос z са значително по-големи когато манипулатора е позициониран странично и е игнорирано окачването.

Същият ефект се наблюдава и когато се измерва виброскоростта. От графиката 3.42 се вижда благоприятният ефект, който веригите оказват при позициониран напред манипулатор. Това поведение се наблюдава респективно и при измерване на виброускоренията Фиг. 3.45.

Тези резултати са необходими при сертифицирането на мобилни роботи за обезвреждане на взривове и спасителни операции. При определени обекти за манипулиране, трябва да се спазват определени изисквания относно допустимите за тях натоварвания, с цел да се ограничи до минимум рискът от детонация. Предложеният метод за определяне на затихващите колебателни преходни процеси на манипулатора, респективно на робота RESCUER, позволява да се определи точно контингента от операции, които са допустими от гледна точка на сигурността на работа.

ГЛАВА IV ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ, ИЗВОДИ И ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

4.1 РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

1. Омекотяването на окачването намалява вибрациите в хващача, но в същото време води до по-голямо провисване на изпълнителното звено на манипулатора;
2. Провисването на изпълнителното звено на манипулаторите не е критично при роботите с директно водене, защото се компенсира от операторите. Това позволява използването на ултра леки манипулатори, които са характерни с по-големи преходни процеси по време на позициониране и манипулиране;
3. Чрез реконфигуриране на модулния манипулатор и промяна в окачването на мобилния робот, могат да се коригират преходните процеси в изпълнителното звено и постигнат по-малки съотношения полезен товар – маса на манипулатора;
4. Частен извод за Rescuer - Неблагоприятно влияние оказва конзолата чрез която манипулаторът се свързва неподвижно с мобилната платформа. Тази конзола не е оразмерена правилно и се нуждае от допълнително оребряване. По този начин

значително ще се намалят преходните процеси, в по-голяма степен при странично позициониран манипулатор, но също така и при манипулатор позициониран напред. Отклоненията по ос Y се дължат на податливост на закрепващата планка;

5. Ако се игнорира окачването на робота и манипулаторът се натовари статично с номинално допустимия товар, за който е проектиран (5kg.), то в него се наблюдават само еластични деформации, като манипулаторът възстановява напълно равновесното си положение след освобождаване на товара;
6. Окачването на робота удвоява провисването на изпълнителното звено на манипулатора, поради еластичността на пружинените механизми;
7. След определен брой повторения на захващане на товар се наблюдава натрупване на грешка в пружинените механизми на окачването, дължащо се на обиране на хлабините в тях и манипулаторът вече не е в състояние да възстанови своето начално положение без товар. Тази грешка достига своя екстремум в даден опит след което остава постоянна.

4.2 ПРИНОСИ

Научно приложни приноси

1. Доразвити и усъвършенствани са два метода за регистриране на преходните процеси при позициониране на изпълнителното звено на мобилен робот. Единият се основава на оптично измерване на преместването по трите оси на координатната система, а другият – на пиезоелектрическа сензорна система;

2. Разработен е метод за определяне на влиянието на окачването на мобилен робот върху отклонението от равновесно положение на манипулаторите му;

3. Разработени и изследвани са математически модели на кинематиката и динамиката на мобилна роботизирана системата Rescuer.

Приложни приноси

1. Разработено е лабораторно експериментално оборудване за изследване на еластичната деформация в реконфигуруем модулен манипулатор на мобилен робот и стенд за отчитане на затихващите колебания при освобождаване на товара от реконфигуруем модулен манипулатор на мобилен робот;

2. Чрез експериментално получени стойности на нивата на затихващите колебания, изразени чрез амплитуда на колебанието, скорост на колебанието и ускорение на

колебанието е изяснено влияние на елементите на окачването на мобилен робот върху отклонението от равновесно положение на изпълнителното звено на реконфигуруем модулен манипулатор.

Методични приноси

1. Адаптирана е методика и екипировка, основана на оптична система за отчитане на преходните процеси при освобождаване на товар от манипулатор, която е приложима за провеждане на упражнения със студенти по роботика;

2. Разработена е методика и е адаптирана екипировка за измерване на затихващите колебания, които еластичното окачване на мобилен робот предизвиква в изпълнителното звено на манипулатора му. Методиката е приложима за провеждане на упражнения със студенти по роботика.

НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Братанова Р., Д. Братанов. Опростен метод за измерване на отклонението от равновесна позиция в манипулаторите на мобилен робот. В: Научна конференция, гр. Русе, Научни трудове на Русенския университет, 2011, стр. 88-92, ISBN 1311-3321.

2. Братанова Р. КОНФИГУРИРАНЕ НА МОДУЛЕН МАНИПУЛАТОР. В: Сборник с доклади от двадесет и първа международна научно-техническа конференция, АДП 2012, юни, гр. Созопол, ТУ-София, 2012, стр. 289-294

3. Братанов Д., Румяна Братанова. КОНФИГУРИРАНЕ НА МОДУЛНИ МАНИПУЛАТОРИ НА МОБИЛЕН РОБОТ. В: Научна конференция МАТТЕХ 2012, 22-24 ноември, гр. Шумен, 2012

4. Братанов Д., Румяна Братанова. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЕЛАСТИЧНАТА ДЕФОРМАЦИЯ ПРИ СТАТИЧНО НАТОВАРВАНЕ В МОДУЛЕН МАНИПУЛАТОР. В: Научна конференция МАТТЕХ 2012, 22-24 ноември, гр. Шумен, 2012

5. Daniel Bratanov, Rumyana Bratanova, Automation and Robotics LaboratoryUniversity of Ruse “Angel Kanchev” Ruse, Bulgaria, *Measurement of the suspension effect towards the gripper positioning in mobile robot’s manipulator*, Global Virtual Conference 8-12 April 2013 Slovak Republik, p 539 – 543, ISBN 978-80-554-0649-7, ISSN 1339-2778

Abstract

The urbanization and the rising number of the urban population leads to an increase of the casualties when a disaster strikes. The debris that these disasters left behind are extremely dangerous environment and the first responders face significant difficulties while operating among them. Because of this, many scientific research projects are aiming the development of mobile robots for search and rescue, which are equipped with dexterous modular reconfigurable manipulators. The main requirement related to this kind of robots is connected with their handling and manipulation capabilities. It is required that the search and rescue robots, and those dedicated to improvise explosive devices disposal, must perform their specific tasks in safe and reliable way, with a precise accuracy very closed to the precision of the human professionals. The robots for bomb disposal are oriented mostly towards the possibility of grasping simple shaped rigid objects and to transport them to the disposal place, or to perform onside disposal. Since 2008, most of the new models bomb disposal robots are equipped with modular reconfigurable manipulators.

In the dissertation is developed a dynamic model of the mobile robot’s manipulator and is formulated the law of end-effector’s motion. This law describes the process of declining flutter in the gripper as a transient process that influence the equilibrium of the manipulator’s end-effector. Using this law are calculated the elasticity coefficients of the robots suspension system. This model is applicable for mobile robots with manipulators and suspension system of the chassis.

In the dissertation is carried an experiment that qualifies the influence of the suspension system towards manipulation capabilities of reconfigurable modular manipulators, based on mobile robots. The proposed experimental model is applicable not only for mobile robots with modular manipulators, but also for reconfigurable modular industrial robots.