

Теорія кінематики та динамічних робочих процесів обробки небезпечних об'єктів мобільними верстатами-роботами

Теория кинематики и динамических рабочих процессов обработки опасных объектов мобильными станками-роботами

Theory of kinematics and dynamic workflows for processing dangerous objects machine tools mobile robots

1. Номер державної реєстрації теми - 0116U003695

2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Струтинський В.Б., Струтинский В.Б., Strutinsky V.B.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Створення обладнання для роботи з небезпечними об'єктами у польових умовах має важливе значення для підвищення обороноздатності та національної безпеки держави. Розробка таких пристроїв орієнтована на одержання прикладних результатів подвійного використання.

Вирішена основна частина проблеми високоточної обробки небезпечних об'єктів, зокрема мін, снарядів, ємностей із токсичними матеріалами, трубопроводів під тиском у польових умовах.

Розроблена концепція високоточної обробки небезпечних об'єктів мобільними верстатами-роботами, яка полягає у використанні механізмів із паралельними кінематичними зв'язками.

Сформульовані основні положення теорії кінематики мобільних верстатів-роботів. Вони визначають векторні характеристики кінематичних параметрів просторового руху виконавчого органу верстата-робота із використанням натурального триєдра траєкторії виконавчого органу. Теоретичні положення застосовані для аналізу і синтезу траєкторій руху інструменту.

Встановлені особливості динамічних робочих процесів просторового різання на мобільних верстатах-роботах. Вони базуються на застосуванні ортогональних кусково-постійних функцій та дискретних аналогів одномірного та двомірного інтеграла Дюамеля (згортки). Для дистанційного контролю процесу обробки небезпечних об'єктів використані коефіцієнти першої і другої квадратичних форм на характерних ділянках високоточних оброблених поверхонь. Проведено математичне моделювання динаміки верстатів-роботів шляхом опису процесів кусково-постійними ортогональними функціями Уолша, що визначають знаки гармонічних складових динамічних процесів.

(рос.)

Создание оборудования для работы с опасными объектами в полевых условиях имеет важное значение для повышения обороноспособности и национальной безопасности государства. Разработка таких устройств ориентирована на получение прикладных результатов двойного использования.

Решена основная часть проблемы высокоточной обработки опасных объектов, в частности мин, снарядов, емкостей с токсичными материалами, трубопроводов под давлением, в полевых условиях.

Разработана концепция высокоточной обработки опасных объектов мобильными станками-роботами, которая заключается в использовании механизмов с параллельными кинематическими связями.

Сформулированы основные положения теории кинематики мобильных станков-роботов. Они определяют векторные характеристики кинематических параметров пространственного движения исполнительного органа станка-робота с использованием натурального триэдра траектории исполнительного органа. Теоретические положения применены для анализа и синтеза траекторий движения инструмента.

Установлены особенности динамических рабочих процессов пространственной резки на мобильных станках-роботах. Они базируются на применении ортогональных кусочно-постоянных функций и дискретных аналогов одномерного и двухмерного интеграла Дюамеля

(свертки). Для дистанционного контроля процесса обработки опасных объектов использованы коэффициенты первой и второй квадратичных форм на характерных участках высокоточных обработанных поверхностей. Проведено математическое моделирование динамики станков-роботов путем описания процессов кусочно-постоянными ортогональными функциями Уолша, определяющие знаки гармонических составляющих динамических процессов.

(англ.)

The creation of equipment for working with dangerous objects in the field is important for improving the defense capability and national security of the state. The development of such devices is focused on obtaining application results of dual use.

The main part of the problem of high-precision processing of dangerous objects, in particular, mines, shells, tanks with toxic materials, pipelines under pressure, in field conditions, has been solved.

The concept of high-precision processing of dangerous objects by mobile robotic machines has been developed, which consists in using mechanisms with parallel kinematic connections.

The basic principles of the kinematics theory of mobile robot machines are formulated. They determine the vector characteristics of the kinematic parameters of the spatial movement of the executive body of the machine-robot using the natural tried of the trajectory of the executive body. The theoretical positions are applied to the analysis and synthesis of tool paths.

The features of the dynamic working processes of spatial cutting on mobile robotic machines have been established. They are based on the use of orthogonal piecewise constant functions and discrete analogs of the one-dimensional and two-dimensional Duhamel integral (convolution). To remotely control the processing of dangerous objects, the coefficients of the first and second quadratic forms on characteristic areas of high-precision machined surfaces were used. Mathematical modeling of the dynamics of machine-robots was carried out by describing the processes by piecewise-constant orthogonal Walsh functions, which determine the signs of the harmonic components of dynamic processes.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Заявка № а2018 06920 на патент України на винахід "Крокуючий пристрій мобільного робота" / Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я., Келавець Ю.Р., Бондаренко Н.С.
2. Заявка № u2018 06921 на патент України на корисну модель "Крокуючий пристрій мобільного робота" / Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я., Келавець Ю.Р., Бондаренко Н.С.
3. Заявка № u201803748 від 06.04.2018 р. на патент України на винахід «Затискний патрон» / Новік М.А., Юрчишин О.Я.
4. Верстат паралельної кінематики з мехатронною системою активного контролю; Патент України на винахід / № 111381, дата 25.04.2016. / Струтинський В.Б., Демяненко А.С.
5. Затискний патрон; Патент України на корисну модель / №110634, дата 25.10.2016, бюл. № 20 / Литвин О.В.; Кравець О.М.; Ящук І.Р.
6. Пристрій для подрібнення стружки. Патент України на корисну модель №112931 / Новік М. А. Гобжила О.О, бюл. № 1/2017, 10.01.2017.
7. Кульовий шарнір. Патент України на корисну модель / №117361 / Кравець В.О., Литвин О.В., Кравець О.М., бюл. № 12/2017, 26.06.2017.
8. Комбінований багатопозиційний привід з цифровим керуванням. Патент України на корисну модель / № 120810. МПК: F15B 11/02 / Новік М.А.; Дідовець В.Є.; Поколенко Є.О., бюл. № 22/2017, 27.11.2017.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Рівень розробки відповідає світовому, а в окремих випадках перевершує світовий в створенні нових методів і теорій кінематики та динамічних робочих процесів обробки на мобільних верстатах-роботах. Отримана нова концепція високоточної обробки в умовах невизначеності положення оброблюваного об'єкта не має аналогів.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Орієнтовна вартість реалізації проекту складає 15 млн. грн.

Термін впровадження – 4 роки. Окупність проекту може бути досягнута за 8-10 років.

Показники продукції у вигляді мобільних верстатів-роботів, які базуються на транспортних засобах набагато вищі ніж у наявних мобільних верстатів по відношенні матеріалоемності (в 20 і більше разів) при відповідному зниженні маси обладнання. Це дозволяє застосувати верстати даного типу в мобільних роботизованих комплексах, аграрній сфері, будівництві та на транспорті. Верстати-роботи з просторовими стрижневими структурами мають енергоспоживання в 5-10 разів нижче аналогічних верстатів традиційного виконання.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Теорія кінематики та динамічних робочих процесів обробки небезпечних об'єктів мобільними верстатами-роботами з отриманими методами синтезу схемних рішень верстатів із самоформуєчими стрижневими просторовими механізмами буде сприяти розвитку машинобудівної галузі України. Використання результатів виконаної роботи дасть можливість створити ефективні наземні роботизовані комплекси, що має важливе значення для підвищення обороноздатності та національної безпеки держави і орієнтовано на одержання прикладних результатів подвійного використання. Планується розробити нові мобільні верстати-роботи для роботи з небезпечними об'єктами.

8. Стан готовності розробки.

Розроблено та виготовлено дослідний зразок мобільного верстата-робота. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового обладнання та впровадження його у промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати НДР впроваджено в навчальний процес: Результати досліджень використані в матеріалах лекційних курсів, практичних і лабораторних занять з дисциплін «Математичне моделювання систем і процесів» (підрозділ Математичні моделі на основі узагальнених функцій); «Промислові роботи та робототехнічні комплекси» (підрозділ Матричні характеристики жорсткості промислових роботів), «Гідропневмопривод верстатів, роботів, машин» (підрозділ Динамічні характеристики гідроприводів просторового руху); «Математичне моделювання верстатів, роботів та машин» (підрозділ Побудова структурних математичних моделей динаміки машин), «Теорія автоматичного керування» (підрозділ Часові характеристики (перехідні процеси) в САУ). А також при підготовці фахівців за програмою «Доктор філософії», а саме дисципліни «Спеціальні методи наукових досліджень».

Захищено 1 докторську та подано до захисту 1 кандидатську та 1 докторську дисертації; видано 2 монографії, 1 підручник; опубліковано: 18 статей, 2 – у закордонних виданнях, 16 – в журналах, що входять до наукометричних баз даних; зроблено 52 доповіді на конференціях (з них 48 – на міжнародних), одержано 5 патентів і подано 3 заявки на винаходи та корисні моделі в Україні. Студентами захищено 18 магістерських робіт.

Результати роботи у вигляді технічних пропозицій підготовлено до впровадження у Державному науково-випробувальному центрі Збройних сил України, що підтверджено відповідним актом.

Експонат «Мобільний верстат-робот» було представлено на ряді виставок: «Зброя і безпека», (2016, 2017, 2018 р., м. Київ); Міжнародному промислово-технологічному форумі (2016, 2017 р., м. Київ), Міжнародній агропромисловій виставці «AGROEXPO» (вересень 2016, 2017 р.р., м. Кіровоград), Сьомій Харбінській міжнародній виставці наукових технологій у Китаї (11-14 жовтня 2018 р., м. Харбін).

10. Форма участі інвестора

Результати досліджень направлені на розроблення та реалізацію багатокоординатного технологічного обладнання для роботи з небезпечними об'єктами. Так як проект є інноваційною розробкою, яка вимагає вкладення коштів у створення нового виробництва, тому доцільною буде участь інвестора з часткою у проекті.

11. Обсяг інвестицій

Для реалізації проекту необхідне інвестування коштів для створення нового підприємства. Приблизна початкова вартість інвестицій – 500 тис. доларів США.

12. Мета інвестицій.

Для реалізації результатів досліджень за проектом на виробництві необхідні кошти для створення нового підприємства, а саме для проведення науково-дослідних робіт, дослідно-конструкторських робіт, маркетингових досліджень, освоєння виробництва та сертифікацію продукції.

13. Назва організації, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, механіко-машинобудівний інститут, кафедра конструювання верстатів і машин, 204-94-61, kvm_mmi@ukr.net

14. Фото розробки



Виготовлений дослідний зразок мобільного верстата-робота

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

Монографії

1. Струтинський В.Б., Симонюк В.П., Денисюк В.Ю. Вдосконалення обладнання та процесу ударно-імпульсної обробки деталей у вібробункері: монографія. – Луцьк: друкарня «Волиньполіграф», 2016. – 139с.
2. Струтинський В.Б., Гуржій А.М. Мобільні промислові роботи: Монографія – Житомир: ПП «Рута», 2018 – 542 с.

Підручник

1. Методологія наукових досліджень. Підручник / Струтинський В.Б., Гуржій А.М. / Житомир: ПП «Рута», 2018 – 581с.

Статті

1. Strutynsky V.B., Hurzhiy A.A., Kolot O.V., Polunichiev V.E. Determination of development grounds and characteristics of mobile multi-coordinate robotic machines for materials machining in field conditions / Scientific Bulletin of NMU, 2016, N 5, Series Geotechnical and mining mechanical engineering, pp.43-51.
2. Demyanenko A., Strutynsky V. The development of mechatronic active control system of tool spatial position in parallel kinematics machine tool / Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol.54, №3 (2016), pp. 757-768
3. Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я., Чуприна В.М. Побудова динамічної тензорно-геометричної моделі просторової жорсткості металорізального верстату за основними підсистемами // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових

- праць. Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 5 (1177). – 118 с. – С. 55-60.
4. Струтинский В.Б., Карпенко Т.Н., Ищенко Е.А. Математические и экспериментальные методы исследования металлорежущих станков при восстановлении направляющих с помощью полимера. Научно-технический журнал. «Известия высших учебных заведений. Машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, №3 (672) 2016 март, с.17-23.
 5. Филатов Ю.Д., Сидорко В.И., Ковалев С.В., Ковалев В.А., Юрчишин О.Я., Ветров А.Г. Точность формообразования плоских поверхностей деталей оптики и микроэлектроники при полировании // Сборник научных трудов «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения». Вып. 19. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2016.– С. 465–473.
 6. Струтинський В.Б., Колот О.В., Чуприна В.М. Математичне моделювання пружної системи верстата для визначення точності обробки / Вісник Херсонського національного технічного університету. - №1(56). -2016. – С.179-191.
 7. Струтинський В.Б., Чуприна В.М. Розробка тензорно-геометричної моделі просторової жорсткості шпиндельного вузла металорізального верстата // Системи обробки інформації. — 2016. — № 1(138). — С. 47-52.
 8. Струтинський В.Б., Чуприна В.М. Тензорно-геометрична модель просторової жорсткості металорізального верстату // Системи обробки інформації. — 2016. — № 2(139). — С. 56-62.
 9. Струтинський В.Б., Чуприна В.М. Багатокритеріальна оптимізація компоновок шпиндельних вузлів металорізальних верстатів на опорах кочення // Системи озброєння і військова техніка. — 2016. — № 3(47). — С. 106-111.
 10. Богучарський В.В., Струтинський В.Б., Чуприна В.М. Мобільний дистанційно-керований роботизований комплекс для підготовки небезпечних об'єктів до знешкодження в польових умовах // Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту озброєння і військової техніки. Таємно — Київ: 2016. — № 2(61). — С.5-17. (Інв.№ 612Т-СБ від 26.08.2016 в ДНВЦ).
 11. Филатов Ю.Д., Ковалев С.В., Юрчишин О.Я. Закономерности формообразования плоских поверхностей оптических деталей / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №38, 2016. – 256 с.– С. 228-232.
 12. Струтинский В.Б., Ищенко Е.А. Разработка способов восстановления работоспособности металлорежущих станков// Республиканский межотраслевой производственно - практический журнал «Инженер - механик» №3 (72) июль-сентябрь 2016 . - с. 23-29.
 13. Regularities in the occurrence and propagation of wave processes in the kinematic chains of a mobile robotic machine tool / V. Strutynskiy, Yu. Burennikov, L. Kozlov / Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy. Published by "Gheorghe Asachi" Technical University of Iași. V. 63 (67), N. 1, 2017. – 89-103 p.p.
 14. Новік М.А., Юрчишин О.Я., Музиченко В.В. Аналіз зусиль і визначення оптимальних параметрів затискної самогальмуючої втулки гідромеханічних трикамерних затискних патронів / Mechanics and Advanced Technologies, №3 (81), 2017. – С. 63-68.
 15. Новік М.А., Юрчишин О.Я., Музиченко В.В. Дослідження статичних та динамічних характеристик безкамерних затискних патронів для високошвидкісної обробки матеріалів різанням // Вісник НТУ «ХПІ» Серія; Технологія машинобудування – Х.: «ХПІ», 2017. -- №1 (1239). --С.56 – 59.
 16. Струтинський В.Б., Симонюк В.П., Денисюк В.Ю. Дослідження закономірностей повільного циркуляційного вихрового руху робочого середовища у вібробункері / Перспективні технології та прилади - Збірник наукових праць. Випуск 10, Луцьк – 2017. - С.176-185.
 17. Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я., Гаврушкевич А.Ю., Полунічев В.Е. Визначення динамічних стохастичних сил різання, які виникають при обробці об'єктів на мобільних верстатах роботах шляхом розкладу сил та переміщень по кусково-постійним

ортогональним функціям Уолша / Вісник Херсонського національного технічного університету. №4. – 2017. С. 111-120.

18. Strutinsky V.B., Yurchishin O.Ya., Kravets O.M., Polunichev V.E. Dynamic characteristics of a mobile robot manipulator built on the basis of a mechanism with parallel kinematic couplings / Зб.наукових праць «Сучасні технології в машинобудуванні», Харків, НТУ «ХП», 2018.– Вип.1 (13), С. 192-206.

Захисти дисертацій

Докторські дисертації

1. Чуприна В.М. Наукові основи оцінки динамічної якості верстатів і їх вузлів при агрегатно-модульному проектуванні, 2017 р.

Подано до захисту

Кандидатські дисертації

1. Іщенко О.А.

Докторські дисертації

1. Ковалевська О.

16. Ключові слова до розробки: мобільний верстат-робот, небезпечний об'єкт, теорія кінематики, динамічні процеси