

Універсальний мобільний багатофункціональний роботизований комплекс високої прохідності, маневреності та живучості

Универсальный мобильный многофункциональный роботизированный комплекс высокой проходимости, маневренности и живучести

Universal multifunctional mobile robotic complex with high passability, maneuverability and durability

1. Номер державної реєстрації теми – 0116U007406, 2939р

**2. Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф. Янчевський І.В., Янчевский И.В.,
Yanchevskiy I.V.**

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Розроблено пакет прикладних програм розрахунку і проектування мобільного роботизованого комплексу на базі шасі високої прохідності з колісно-крокуючим двокотковим рушієм. Запропоновані ефективні методи розв'язання низки прикладних задач, зокрема, аналітичного та чисельного моделювання динаміки шасі при доланні співвимірних з його габаритами перешкод; визначення навантажень, що діють на деталі шасі, чисельними методами та за показниками відповідних датчиків; прогнозування остаточного ресурсу деталей, які знаходяться в умовах інтенсивних зовнішніх навантажень. Представлено також новий підхід до проектування деталей з урахуванням топологічної їх оптимізації під послідуєче «безсупортне» адитивне виробництво. Розроблена також параметризована тривимірна модель і відповідна програма розрахунку геометричних параметрів та на міцність деталей (із залученням сучасних методик) компактного кривошипно-планетарного редуктора, який входить до складу приводу шасі з активними колісними блоками. Відповідні програми розрахунку були сформовані у вигляді єдиного та зручного для користування комплексу програм, який дозволяє суттєво скоротити час на проектування та оптимізацію колісних/колісно-крокуючих шасі для роботизованих систем та їх приводів. Розроблено новий метод визначення координат місцезнаходження шасі з використанням системи технічного зору, яка дає можливість створення автономної навігаційної системи, в т.ч. для її використання у польових умовах. Вдосконалено також існуючий алгоритм роботи системи технічного зору на основі контурного аналізу.

Розроблено робочі кресленики на мобільне шасі з колісно-крокуючим двокотковим рушієм та спроектований для цього шасі маніпулятор з шістьма ступенями вільності, а також на кривошипно-планетарний редуктор з симетричним конструктивним виконанням і наскрізним центральним валом. На основі зазначеної документації були виготовлені макетні/дослідні зразки шасі, маніпулятора та редуктора. Розроблено також лабораторний міністенд для апробації запропонованих підходів до обробки зображень та розпізнавання об'єктів в режимі реального часу.

(рос.)

Разработан пакет прикладных программ расчета и проектирования мобильного роботизированного комплекса на базе шасси высокой проходимости с колесно-шагающим двухкатковым двигателем. Предложены эффективные методы решения ряда прикладных задач, в частности, аналитического и численного моделирования динамики шасси при преодолении соразмерных с его габаритами препятствий; определение нагрузок, которые действуют на детали шасси, численными методами и по показателям соответствующих датчиков; прогнозирование остаточного ресурса деталей, которые находятся в условиях интенсивных внешних нагрузок. Представлен также новый подход к проектированию деталей с учетом топологической их оптимизации под последующее «безопорное» аддитивное производство. Разработана также параметризованная трехмерная модель и соответствующая программа расчета геометрических параметров и на прочность деталей (с

привлечением современных методик) компактного кривошипно-планетарного редуктора, который входит в состав привода шасси с активными колесными блоками. Соответствующие программы расчета были сформированы в виде единого и удобного для пользования комплекса программ, который позволяет существенно сократить время на проектирование и оптимизацию колесных/колесно-шагающих шасси для робототехнических систем и их приводов. Разработан новый метод определения координат местонахождения шасси с использованием системы технического зрения, который дает возможность создания автономной навигационной системы, в т.ч. для ее использования в полевых условиях. Усовершенствован также существующий алгоритм работы системы технического зрения на основе контурного анализа.

Разработаны рабочие чертежи на мобильное шасси с колесно-шагающим двухкатковым движителем и спроектированный для этого шасси манипулятор с шестью степенями свободы, а также на кривошипно-планетарный редуктор с симметричным конструктивным выполнением и сквозным центральным валом. На основе указанной документации были изготовлены макетные/опытные образцы шасси, манипулятора и редуктора. Разработан также лабораторный министенд для апробации предложенных подходов к обработке изображений и распознавания объектов в режиме реального времени.

(англ.)

A package of applied programs for calculating and designing a mobile robotic complex based on a chassis of high cross-country ability with a wheel-walking twin-rollers driver. Effective methods for solving a number of applied problems are proposed, in particular, analytical and numerical modelling of chassis's dynamics during overcoming obstacles with comparable sizes; identification of loads applied to chassis' parts by numerical methods or by values of corresponding sensors; predicting the residual life of parts under intense external loads. A new approach to design of parts is also presented, taking into account topological optimization for subsequent "supportless" additive production. The parametrized three-dimensional model and the corresponding program for calculating geometric parameters and on the strength of parts (using modern techniques) of a compact crank-planetary gearbox, which is a part of a chassis's drive with active wheeled blocks, has also been developed. The corresponding calculation programs were formed in a single and user-friendly software package that significantly reduces the time for designing and optimizing wheeled/wheel-walking chassis for robotic systems and their drives. A new method for determining the location of the chassis using a vision system that allows the creation of an autonomous navigation system, incl. for its use in the field, has been developed. The existing algorithm of the technical vision system based on the contour analysis is also improved.

Packages of design documentation for a mobile chassis with a wheel-walking twin-rollers driver and designed for this chassis manipulator with six degrees of freedom, as well as a crank-planetary gearbox with a symmetrical design and a through central shaft have been created. Based on this documentation, prototypes of chassis, manipulator and gearbox were manufactured. A laboratory mini-stand has also been developed to test the proposed approaches to image processing and object recognition in real time.

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

- Патент на корисну модель. Симетричний кривошипно-планетарний редуктор з наскрізним вхідним валом / І.В. Янчевський, Д.М. Литвиненко – (подана заявка);

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Розроблений роботизований комплекс на базі восьмиколісного чотириважільного шасі з колісно-крокуючим рушієм є конкурентоздатним на світовому рівні. Запропоновані авторами роботи методи розв'язання т.зв. некоректних задач механіки з ідентифікації діючих на деталі навантажень та прогнозування залишкового ресурсу деталей за критерієм утомної міцності дещо перевершують за ефективністю обчислювального процесу існуючі методи-аналоги. Принципово новим є підхід до проектування деталей з урахуванням топологічної їх

оптимізації під послідує «безсупортне» адитивне виробництво на основі алгоритму для задач оптимального пакування кіл.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Терміни реалізації проекту, у т.ч. на доопрацювання/модернізацію дослідного зразка, кооперацію з виробниками навісного обладнання, виготовлення прототипів та демонстрацію їх на виставках, проведення маркетингової кампанії щодо просування товару, поставку на ринок базового шасі з комплектом змінного навісного обладнання, проходять впродовж 2018-2019 рр. Окупність готової одиниці товару до 2022 р.

Застосування даного шасі для виготовлення мобільних роботизованих комплексів та мінітехніки зі змінним робочим обладнанням дозволяє знизити собівартість та підвищити якість таких виробів за рахунок:

- підвищення на 20...40 % прохідності зразка за рахунок використання колісно-крокуючого рушія для переміщення шасі;
- підвищення на 10...20 % швидкості пересування даного шасі порівняно з гусеничним та зменшення (на 20...30 %) питомих енерговитрат за рахунок використання колісної бази;
- зниження (на 10...20 %) собівартості виробу за рахунок вітчизняного виробництва.

7. Потенційні користувачі.

Розроблений роботизований комплекс підвищеної прохідності може бути використаний службами та підприємствами, які пов'язані з будівництвом, геологічною розвідкою, ремонтом чи реставрацією інженерних мереж, тощо. Даний комплекс може бути залучений також Державною службою з надзвичайних ситуацій при виконанні спеціальних завдань, зокрема тих, які є небезпечними для життя чи здоров'я людини (ліквідація різноманітних аварій, наслідків надзвичайних ситуацій, робота в небезпечних середовищах, в т.ч. при створенні рухомих мереж зв'язку, тощо).

8. Стан готовності розробки.

Розроблені робочі креслення на мобільний роботизований комплекс першого типорозміру з напівактивним колісним блоком і на кривошипно-планетарний редуктор з симетричним конструктивним виконанням та наскрізним валом. На основі цих пакетів документів були виготовлені промислові зразки роботизованого комплексу та редуктора і відпрацьовані технології їх виготовлення, що свідчить про готовність впровадження цих розробок у виробництво. Однак відкритими залишилися окремі питання, які пов'язані з системою керування роботизованим комплексом та орієнтуванням його на місцевості на основі системи технічного зору.

9. Існуючі результати впровадження.

Розроблені алгоритми визначення діючих на деталі складної геометрії навантажень та проектування деталей під «безсупортне» адитивне виробництво пройшли апробацію в Інституті розробки продуктів та приладобудування Університету ім. Лейбниці (м. Ганновер, Німеччина). Окремі елементи розробленого авторами даної НДР пакету прикладних програм розрахунку приводу роботизованого комплексу використовуються ТОВ «Пайтекс». Зокрема, для підйомних пристроїв загального призначення, які виготовляються ТОВ «Пайтекс», використовуються програми енерго-кінематичного розрахунку приводу, розрахунку на міцність та геометрію кривошипно-планетарного редуктора, розрахунок на міцність деталей приводу. Договір про співробітництво підписано також з ТОВ «Інтроботс», у якому на поточний час проходять тестування запропоновані авторами НДР алгоритми для системи технічного зору для мобільних роботів. Результатів впровадження самого мобільного роботизованого комплексу на даний момент немає.

10. Форма участі інвестора

Оскільки інвестиції в даний проект довгострокові (на період більше року), то за періодом реалізації вони відносяться до внески в необоротні активи. Форма участі інвестора – реальні інвестиції, внески в реальні активи як матеріальні (у виробничі засоби), так і нематеріальні (патенти, ліцензії, технічна, технологічна, проектно-кошторисна та інша документація). Краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті 80%, частка від прибутку 60%.

11. Обсяг інвестицій.

- доопрацювання конструкторської документації – 7 000 \$
- розробка оновленої версії – 20 000 \$
- міжнародне патентування – 3 000 \$
- виготовлення промислових зразків та їх випробування – 30 000 \$

12. Мета інвестицій.

Метою залучення інвестицій є вкладення у виробничі засоби, матеріали, а також нематеріальні активи (патенти, ліцензії, технічна, технологічна, проектно-кошторисна та інша документація), серед яких розробка конструкторської документації на прототип, Міжнародне патентування, виготовлення промислових зразків та їх випробування.

13. Назва організації, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, механіко-машинобудівний інститут, кафедра динаміки і міцності машин та опору матеріалів, (044) 204-86-33, tm@kpi.ua

14. Фото розробки

Дослідний зразок роботизованого комплексу з колісно-крокуючим двокотковим рушієм



Промисловий зразок симетричного кривошипно-планетарного редуктора з наскрізним входним валом

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Yanchevskiy I. Mobile automated diagnostics of stress state and residual life prediction for a component under intensive random dynamic loads / I. Yanchevskiy, I. Mozgova, M. Gerasymenko, R. Lachmayer // Procedia Manufacturing. – 2018. – Vol. 24. – P. 210-215. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.06.037

2. Yanchevskiy I. Identification of several non-stationary loads applied to an elastically deformed structure / I. Yanchevskiy, R. Lachmayer, I. Mozgova, Ph. Gottwald // *Applied and Computational Mechanics*. – 2018. – Vol. 12, Iss. 1. – P. 17-32. DOI: 10.24132/acm.2018.365
3. Yanchevskiy I. Circular layout problem for additive manufacture of support-free structures / I. Yanchevskiy, R. Lachmayer, G. Yaskov, I. Mozgova, R.-B. Lippert // *Materials and Design*. – 2018. (in press)
4. Янчевський І.В. Ідентифікація нестационарних навантажень, що діють на пружнодеформований елемент конструкції / І.В. Янчевський // *Інформаційні системи, механіка та керування*. – 2016. – № 14. – С. 74-82. DOI: 10.20535/2219-380414201670647
5. Янчевський І.В. Аналіз динаміки колісного шасі класу 8К4П / І.В. Янчевський, В.В. Губська, В.О. Кривоноженков // *Наук.-техн. зб. «Інформаційні системи, механіка та керування»*. – 2017. – № 16. – С. 89-101.
6. Янчевський І.В. Аналіз кінематики колісного шасі класу 8К4П / І.В. Янчевський, В.В. Губська // *Наук.-техн. зб. «Інформаційні системи, механіка та керування»*. – 2016. – № 15. – С. 58-69. DOI: 10.20535/2219-380415201688030
7. Янчевський І.В. Динаміка колісного шасі 8К4П при доланні складних перешкод / І.В. Янчевський, В.В. Губська, В.О. Кривоноженков // *Наук.-техн. зб. «Інформаційні системи, механіка та керування»*. – 2018. – № 18. – С. 42-52. DOI: 10.20535/2219-38041820128549
8. Янчевський І.В. Контактна задача для кривошипно-планетарного редуктора / І.В. Янчевський, П. Комада, Н.В. Стельмах, Д.М. Литвиненко // *Наукові вісті НТУУ КПІ. Сер. Приладобудування та інформаційно-вимірвальна техніка*. – 2018. – № 1. – С. 73-80. DOI: 10.20535/1810-0546.2018.1.121166
9. Богославец Р.О. Робастна система керування безпілотним літальним апаратом / Р.О. Богославец, В.В. Бурнашев, К.В. Пономаренко // *Механіка гіроскопічних систем*. – 2018. – № 34. – С. 14–21.
10. Котвицький Р.С. Метод визначення координат рухомого об'єкту з використанням системи технічного зору / Р.С. Котвицький, Г.В. Сарибога, О.В. Збруцький // *Наук.-техн. зб. «Інформаційні системи, механіка та керування»*. – 2017. – № 16. – С. 71-78.
11. Гуменный Д.А. Анализ квазистатического движения колесного аппарата в процессе преодоления препятствия типа уступа / Д.А. Гуменный, А.В. Чкалов, М.М. Ткач, И.Р. Пархомей // *Bulgarian Journal for Engineering Design*. – 2017. – № 32. – С. 11-15.
12. Mozgova I. Prediction of the residual life of a component under intensive random dynamic loading within the scope of technical inheritance / I. Mozgova, I Yanchevskiy, R. Lachmayer // *Inter. Design Conference – DESIGN 2018. Croatia, Dubrovnik. May 21-24, 2018*. – P. 1643-1650. DOI: 10.21278/idc.2018.0511.
13. Mozgova I. Mobile Automated Diagnostics of Stress State and Residual Life Prediction for a Component under Intensive Random Dynamic Loads / I. Mozgova, I Yanchevskiy, M. Gerasymenko, R. Lachmayer // *4th Int. Conf. on “System-Integrated Intelligence: Intelligent, flexible and connected systems in products and production, SYSINT 2018”*, 19-20 June 2018, Garbsen, Germany. – P. 21-24.
14. Губська В.В. Динаміка колісного шасі класу 8К4П при русі по сходовому маршруту / В.В. Губська, В.О. Кривоноженков, А.О. Касьяненко // *Тези доповідей X-ої Міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми інформатизації”*, м. Київ (Україна), 12–13 квітня 2018 р. – С. 36-37.
15. Котвицький Р.С. Метод визначення координат рухомого об'єкту за допомогою системи технічного зору / Р.С. Котвицький, Г.В. Сарибога, О.В. Збруцький // *Доп. XI-ої Міжн. наук.-техн. конф. «Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки»*, м. Київ (Україна), 13–14 квітня 2018 р. – С. 72-76.
16. Литвиненко Д. Інформаційна модель складання виробу / Д. Литвиненко, О. Доценко, Н. Стельмах // *Мат-ли V наук.-техн. конф. „Інформаційні моделі, системи та технології“*, 1-2 лютого 2018 року. – Т.: ТНТУ, 2018. – С. 12.

17. Литвиненко Д.М. Забезпечення динамічної міцності в кривошипно-планетарних редукторах / Д.М. Литвиненко, Н.В. Стельмах // XVII Міжн. наук.-техн. конф. “Приладобудування: стан і перспективи”, 15-16 травня 2018 року, КПІ ім. І. Сікорського, Київ, Україна.
18. Янчевський І.В. Моделювання динаміки гіроскопічних систем в програмному комплексі EULER / І.В. Янчевський, В.В. Губська, В.О. Кривоноженков // Мат-ли XI Міжн. наук.-техн. конф. «Гіротехнологія, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки», м. Київ, 12-13 квітня 2017 р. – С. 45.
19. Янчевський І.В. Розв’язання задач параметричної оптимізації при дослідженні динаміки багатокомпонентних механічних систем / І.В. Янчевський, В.В. Губська, В.О. Кривоноженков // Мат-ли IV Міжн. наукова конф. «Сучасні проблеми механіки», м. Київ, 27-30 серпня 2017 р. – С. 20.

16. Ключові слова: Мобільне шасі, колісно-крокуючий рушій, аналітичне та чисельне моделювання, розрахунок на міцність, система технічного зору, робочі кресленики