

Демидюк Мирослав Васильович, кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник,
Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України,
e-mail: m_demydyuk@ukr.net;
Литвин Богдан Андрійович, кандидат фіз.-мат. наук, науковий співробітник,
Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України,
e-mail: b_lytwyn@ukr.net

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХОДИ ЛЮДИНИ З ПАСИВНО КЕРОВАНИМ ЕКЗОСКЕЛЕТОНОМ

Демидюк М.В., Литвин Б.А.

Досліджуємо задачу математичного моделювання ходи людини з екзоскелетоном. Екзоскелетон (екзоскелет) – це механічний пристрій, який дозволяє збільшити м'язову силу людини за допомогою зовнішнього каркасу; він представляє собою корсет, що складається із стержнів, з'єднаних між собою шарнірами. Одним із важливих застосувань екзоскелетона є реабілітація людей із частково (або повністю) втраченими локомоційними функціями нижніх кінцівок. Отримані результати є подальшим розвитком оптимізаційного підходу та алгоритмів математичного моделювання ходи людини, запропонованих у [1, 2].

Розглядаємо керований рух нелінійної механічної системи, яка моделює ходу людини з пружинно-демпферним екзоскелетоном. Система складається із 9 твердих тіл (з'єднаних між собою циліндричними шарнірами), які представляють корпус людини та дві чотириланкові нижні кінцівки (стегно, гомілка, дволанкова стопа). Стопи вважаємо безінерційними, а їхні маси зосередженими в гомілковостопних шарнірах. Рух системи відбувається внаслідок взаємодії сили тяжіння, сил реакцій опорної поверхні та моментів сил у шарнірах. Сили у шарнірах генеруються м'язо-скелетною структурою людини (активні керування) та пружинно-демпферними пристроями у шарнірних вузлах екзоскелетона (пасивні керування). Динаміка руху моделі у вертикальній (сагітальній) площині описується системою 7-и нелінійних диференціальних рівнянь 2-го порядку та 4-х умов кінетостатичної рівноваги стоп. Додатково на рух моделі накладаються кінематичні та динамічні умови антропоморфності руху нижніх кінцівок та умови періодичності руху системи на проміжку подвійного кроку $[0, T]$.

Ставиться така **задача**. Нехай на проміжку часу $[0, T]$ задано довжини та тривалості одинарних кроків, області зміни міжланкових кутів та реакцій опорної поверхні, а також в'язко-пружні характеристики екзоскелетона. Потрібно визначити такий рух системи і відповідні активні керування у шарнірах, які при заданих кінематичних та динамічних обмеженнях мінімізують заданий функціонал енерговитрат.

Розроблено алгоритм побудови наближеного розв'язку сформульованої задачі оптимального керування, який ґрунтується на процедурах параметризації узагальнених координат системи кубічними згладжувальними сплайнами, концепції обернених задач динаміки та числових методах нелінійного математичного програмування. Отриману задачу параметричної оптимізації розв'язуємо за допомогою генетичного алгоритму [3].

1. Бербюк В.Є., Демидюк М.В. Литвин Б.А. Математичне моделювання ходи людини на підставі експериментальних даних // Вісник Львів. ун-ту. Сер. прикладна математика та інформатика. – 2000. – Вип. 3. – С. 86–91.
2. Бербюк В. Є., Демидюк М. В. Литвин Б. А. Математическое моделирование и оптимизация ходьбы человека с протезированой голенью // Проблемы управления и информатики. – 2005. – № 3. – С. 128-144.
3. Литвин Б. А. Про одну модифікацію гібридного генетичного алгоритму з дійсним кодуванням у задачах оптимізації // Вісник Львів. ун-ту. Сер. Прикладна математика та інформатика. – 2009. – Вип.15. – С.313-324.