РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“
80 години с лице към знанието, младостта и бъдещето

7004 Русе, ул. „Студентска“8
www.uni-ruse.bg; secretary@uni-ruse.bg; тел.: 082/888 211;

REVIEW

of the PhD dissertation submitted by Assylbek Ozhiken entitled
"Development and investigation of an electromechanical drive with an adaptive control system for an ankle joint exoskeleton"
submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the speciality 6D060300 – Mechanics

The dissertation addresses a highly relevant and rapidly developing field of modern engineering science related to the design of exoskeleton systems aimed at supporting, compensating, and restoring human musculoskeletal functions. In the context of increasing demand for rehabilitation technologies and intelligent assistive devices, this research area holds substantial scientific and practical importance, particularly at the intersection of robotics, biomechanics, and control theory.

The main focus of the work is the development of an electromechanical drive for an ankle joint exoskeleton and the design of an adaptive control system capable of accounting for the nonlinear nature of human biomechanical behavior and varying interaction conditions in the human–device system. The use of an adaptive approach is well justified and essential, as it enables real-time adjustment of control parameters, thereby improving system stability, accuracy, and operational safety.

The author demonstrates a systematic approach to the problem, starting from the analysis of ankle joint biomechanics and proceeding to the development of mathematical models and control algorithms. A clear methodological chain can be observed between system dynamics modeling, synthesis of the adaptive control law, and its evaluation in terms of stability and practical applicability. This indicates a solid understanding of both the theoretical foundations of control systems and the engineering aspects of exoskeleton implementation.

It should be emphasized that the proposed solutions are aimed at reducing unnecessary load on the user and ensuring a more natural movement pattern, which is particularly important in rehabilitation applications. This allows the results of the work to be considered not only as a theoretical contribution but also as a foundation for practical implementation in medical engineering and assistive technologies.

The dissertation is completed at a good scientific and technical level, characterized by logical structure, appropriate methodology, and well-supported conclusions. The obtained results are consistent with current international trends in exoskeleton systems and adaptive control engineering.

Overall, the dissertation meets the requirements for a PhD degree, and the author deserves to be awarded the degree of Doctor of Philosophy (PhD).

Sincerely,
PhD, Prof. Iliev Teodor
Ruse, Bulgaria

РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“
80 години с лице към знанието, младостта и бъдещето

7004 Русе, ул. „Студентска“8
www.uni-ruse.bg; secretary@uni-ruse.bg; тел.: 082/888 211;

REVIEW

of the PhD dissertation submitted by Assylbek Ozhiken entitled
"Development and investigation of an electromechanical drive with an adaptive control system for an ankle joint exoskeleton"
submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the speciality 6D060300 – Mechanics

The dissertation addresses a highly relevant and rapidly developing field of modern engineering science related to the design of exoskeleton systems aimed at supporting, compensating, and restoring human musculoskeletal functions. In the context of increasing demand for rehabilitation technologies and intelligent assistive devices, this research area holds substantial scientific and practical importance, particularly at the intersection of robotics, biomechanics, and control theory.

The main focus of the work is the development of an electromechanical drive for an ankle joint exoskeleton and the design of an adaptive control system capable of accounting for the nonlinear nature of human biomechanical behavior and varying interaction conditions in the human–device system. The use of an adaptive approach is well justified and essential, as it enables real-time adjustment of control parameters, thereby improving system stability, accuracy, and operational safety.

The author demonstrates a systematic approach to the problem, starting from the analysis of ankle joint biomechanics and proceeding to the development of mathematical models and control algorithms. A clear methodological chain can be observed between system dynamics modeling, synthesis of the adaptive control law, and its evaluation in terms of stability and practical applicability. This indicates a solid understanding of both the theoretical foundations of control systems and the engineering aspects of exoskeleton implementation.

It should be emphasized that the proposed solutions are aimed at reducing unnecessary load on the user and ensuring a more natural movement pattern, which is particularly important in rehabilitation applications. This allows the results of the work to be considered not only as a theoretical contribution but also as a foundation for practical implementation in medical engineering and assistive technologies.

The dissertation is completed at a good scientific and technical level, characterized by logical structure, appropriate methodology, and well-supported conclusions. The obtained results are consistent with current international trends in exoskeleton systems and adaptive control engineering.

Overall, the dissertation meets the requirements for a PhD degree, and the author deserves to be awarded the degree of Doctor of Philosophy (PhD).

Sincerely,
PhD, Prof. Iliev Teodor
Ruse, Bulgaria

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Өжікен Асылбека Қасымбекұлы на тему «Разработка и исследование электромеханического привода с адаптивной системой управления для экзоскелета голеностопного сустава», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D060300 – «Механика»

Представленная диссертационная работа посвящена актуальному и активно развивающемуся направлению современной инженерной науки, связанному с разработкой экзоскелетных систем, предназначенных для поддержки, компенсации и восстановления функций опорно-двигательного аппарата человека. В условиях роста потребности в реабилитационных технологиях и интеллектуальных ассистивных устройствах данная область приобретает значительную научную и прикладную ценность, особенно на стыке робототехники, биомеханики и теории управления.

Основное внимание в работе уделено разработке электромеханического привода для экзоскелета голеностопного сустава и созданию адаптивной системы управления, способной учитывать нелинейный характер биомеханического поведения человека и изменяющиеся условия взаимодействия «человек–устройство». Использование адаптивного подхода является обоснованным и принципиально важным, поскольку обеспечивает возможность подстройки параметров управления в реальном времени, что повышает устойчивость, точность и безопасность работы системы.

Автор демонстрирует системный подход к решению поставленной задачи, начиная с анализа биомеханики голеностопного сустава и заканчивая разработкой соответствующих математических моделей и алгоритмов управления. В работе прослеживается логическая связка между моделированием динамики системы, синтезом адаптивного закона управления и его оценкой с точки зрения устойчивости и практической применимости. Такой подход свидетельствует о зрелом понимании как теоретических основ управления, так и инженерных аспектов реализации экзоскелетных систем.

Следует отметить, что предложенные решения ориентированы на снижение избыточной нагрузки на пользователя и обеспечение максимально естественного характера движения, что особенно важно в задачах реабилитации. Это позволяет рассматривать результаты работы не только как теоретический вклад, но и как основу для практических приложений в медицинской инженерии и вспомогательных технологиях.

Работа выполнена на хорошем научно-техническом уровне, отличается последовательностью изложения, корректностью используемых методов и обоснованностью выводов. Полученные результаты соответствуют современным международным тенденциям в области экзоскелетных и адаптивных систем управления.

В целом диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к PhD исследованиям, а ее автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD).

С уважением,
доктор философии (PhD), профессор Ильев Теодор
г. Русе, Болгария

Өжікен Асылбек Қасымбекұлының «Тобық буыны экзоскелетіне арналған адаптивті басқару жүйесі бар электромеханикалық жетекті әзірлеу және зерттеу» тақырыбындағы 6D060300 – «Механика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған диссертациялық жұмысына

ПІКІР

Ұсынылып отырған диссертациялық жұмыс адамның тірек-қимыл аппаратының қызметін қолдауға, оның бұзылған функцияларын толықтыруға және қалпына келтіруге арналған экзоскелет жүйелерін әзірлеуге бағытталған заманауи инженерлік ғылымның өзекті әрі қарқынды дамып келе жатқан бағытына арналған. Қазіргі таңда оңалту технологиялары мен интеллектуалды көмекші құрылғыларға деген сұраныстың артуына байланысты бұл ғылыми бағыт робототехника, биомеханика және басқару теориясының тоғысқан саласында маңызды ғылыми және практикалық мәнге ие.

Диссертациялық жұмыста негізгі назар тобық буыны экзоскелетіне арналған электромеханикалық жетекті әзірлеуге және адамның биомеханикалық қозғалысының сызықтық емес сипатын, сондай-ақ «адам–құрылғы» жүйесінің өзара әрекеттесу жағдайларының өзгеруін ескеретін адаптивті басқару жүйесін құруға аударылған. Басқарудың адаптивті тәсілін қолдану ғылыми тұрғыдан негізделген әрі маңызды шешім болып табылады, өйткені ол басқару параметрлерін нақты уақыт режимінде автоматты түрде бейімдеуге мүмкіндік береді. Соның нәтижесінде жүйенің орнықтылығы, басқару дәлдігі және пайдалану қауіпсіздігі артады.

Автор қойылған ғылыми міндетті шешуде жүйелі тәсіл ұстанған. Жұмыста тобық буынының биомеханикалық ерекшеліктерін талдаудан бастап, математикалық модельдерді әзірлеуге, басқару алгоритмдерін құруға және олардың тиімділігін бағалауға дейінгі барлық зерттеу кезеңдері өзара логикалық байланыста қарастырылған. Динамикалық модельдеу, адаптивті басқару заңын синтездеу және оның орнықтылығы мен практикалық қолдану мүмкіндігін бағалау арасындағы сабақтастық автордың басқару теориясының іргелі қағидаларын және экзоскелет жүйелерін инженерлік тұрғыдан іске асыру ерекшеліктерін терең меңгергенін көрсетеді.

Айта кету керек, ұсынылған ғылыми шешімдер пайдаланушыға түсетін артық жүктемені азайтуға және қозғалыстың барынша табиғи физиологиялық сипатын қамтамасыз етуге бағытталған. Бұл оңалту жүйелерін әзірлеу тұрғысынан ерекше маңызды. Осыған байланысты зерттеу нәтижелерін тек теориялық тұрғыдан ғана емес, соңымен қатар медициналық инженерия мен көмекші технологияларда қолдануға болатын практикалық негіз ретінде де бағалауға болады.

Диссертациялық жұмыс жоғары ғылыми-техникалық деңгейде орындалған. Жұмыстың мазмұны бірізді баяндалған, қолданылған зерттеу әдістері ғылыми тұрғыдан дұрыс таңдалған, алынған нәтижелер мен жасалған қорытындылар жеткілікті дәрежеде негізделген. Зерттеу нәтижелері экзоскелет жүйелері мен адаптивті басқару саласындағы қазіргі халықаралық ғылыми бағыттарға сәйкес келеді.

Жалпы алғанда, Өжікен Асылбек Қасымбекұлының диссертациялық жұмысы философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін қойылатын талаптарға сәйкес келеді, ал оның авторы философия докторы (PhD) дәрежесін алуға лайық деп санаймын.

Құрметпен,
философия докторы (PhD), профессор
Теодор Ильев
Русе қ., Болгария