

6D071600 – «Аспап жасау» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне іздену үшін ұсынылған Жетенбаев Нұрсұлтан Талғатұлының «Тобық экзоскелетін жасанды бұлшық етті қолдану арқылы жасау» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына ресми рецензенттің

СЫН-ШІКІРІ

р/н №	Критерийлер	Критерийлер сәйкестігі	Ресми рецензенттің ұстанымы
1.	Диссертация тақырыбының (бекіту күніне) ғылымның даму бағыттарына және/немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкес болуы	1.1 Ғылымның даму бағыттарына және/немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі:	Диссертацияда ұсынылған зерттеу нәтижелері Қазақстан Республикасы Үкіметінің жанындағы Жоғары ғылыми-техникалық комиссия бекіткен ғылымды дамытудың басым бағыттарына сәйкес келеді.
2.	Ғылымға маңыздылығы	Жұмыс ғылымға елеулі үлесін қосады/қоспайды, ал оның маңыздылығы ашылған/ашылмаған.	Н.Т. Жетенбаевтың диссертациялық жұмысы жасанды бұлшықетті тобық экзоскелетіне біріктіру оңалту технологиясы саласындағы парадигманың ауысуын білдіреді. Бұл диссертацияның нәтижелері осы инновациялық тәсілдің орындылығын көрсетіп қана қоймайды, сонымен қатар оңалту құрылғыларының функционалдық нәтижелерін жақсарту әлеуетіне жарық түсіреді. Сызықтық электр жетек жоғары тиімділігіне қол жеткізу арқылы бұл әзірлемелер емдік мақсатта тобық экзоскелетінің тиімділігін айтарлықтай арттыруға уәде береді және ғылымға елеулі үлес қосады.
3.	Өзі жазу принципі	Өзі жазу деңгейі: 1) жоғары; 2) орташа; 3) төмен; 4) өзі жазбаған	Ізденуші орындаған жұмыс дербес зерттеу болып табылады. Ғылыми-тәжірибелік маңыздылығы бар және ғылымға қосқан үлесін көрсетеді. Диссертацияда келтірілген барлық тәжірибелік мәліметтерді автор өз бетінше алды. Сондай-ақ, нәтижелерді ҚР және шет елдердегі ғылыми семинарлар мен конференцияларда баяндады.
4.	Ішкі бірлік принципі	4.1 Диссертация өзектілігінің негіздемесі: 1) негізделген; 2) жартылай негізделген;	Денсаулық сақтау саласында тобық буын экзоскелет қозғалыс мүмкіндігі шектеулі адамдар үшін перспективалы шешімдер ұсынады. Диссертацияның өзектілігі оның ұтқырлығы мен

		3) негізделмеген.	тәуелсіздігін арттыру арқылы жұлын жаракаттары бар, insult алған және басқа адамдардың өмір сүру сапасын жақсарту мүмкіндіктерінде жатыр. Зерттеу оңалту үшін тиімдірек және қолдануға ыңғайлы экзоскелеттердің дамуы туралы түсінік бере алады.
		4.2 Диссертация мазмұны диссертация тақырыбын айқындайды 1) <u>айқындайды</u> ; 2) жартылай айқындайды; 3) айқындамайды	Диссертациялық жұмыстың мазмұны тиянақты және диссертация тақырыбы бойынша зерттеудің мақсаты мен міндеттерін толық қамтиды. Диссертация сызықтық электрлік жетекпен басқарылатын тобық буын экзоскелетін зерттеуге арналған.
		4.3. Мақсаты мен міндеттері диссертация тақырыбына сәйкес келеді: 1) <u>сәйкес келеді</u> ; 2) жартылай сәйкес келеді; 3) сәйкес келмейді	Н.Т. Жетенбаевтың қойған мақсаты мен міндеттері диссертация тақырыбына толығымен сәйкес келеді. Диссертациялық жұмыстың мақсаты жасанды бұлшықеттерді негізгі жетек механизмі ретінде біріктіру арқылы тобық буын экзоскелетін жобалаудың жаңа тәсілін ұсыну. Бұл тәсіл адамның бұлшық еттері мен буындарының табиғи мінез-құлқын дәлірек көшіруге бағытталған, бұл қозғалғыштығы бұзылған адамдарға интуитивті және тиімді көмек көрсетуге әкеледі. Зерттеу жұмысында келесідей міндеттер орындалған: 1. Қолданыстағы тобық буын экзоскелеттерін, олардың құрылымдарын, техникалық шешімдері мен мәселелерін зерттеу; 2. Экзоскелет элементтері жасалатын дене бөліктерінің құрылымын зерттеп, сондай-ақ олардың биомеханикалық мәндерін қарастыру; 3. Экзоскелеттің талаптары мен дизайнына негізделген қолайлы жасанды бұлшықеттерді таңдау; 4. Құрылымының компьютерлік моделін құруды жүзеге асыру; 5. Тәжірибелік модель түрінде жобаланған жүйені енгізу; 6. Экзоскелетті сынау және нақтылау, соның ішінде экзоскелетті әртүрлі жүктемелермен және әртүрлі жағдайларда сынау, оның талаптарға сай екеніне және ұтқырлық пен өмір сапасын жақсартуда тиімді екеніне көз жеткізу.
		4.4. Диссертацияның барлық бөлімдері мен құрылысы логикалық байланысқан:	Диссертациялық жұмыстың барлық бөлімдері мен ғылыми тұжырымдары өзара толықтай байланысқан. Н.Т. Жетенбаевтың

- 1) толық байланысқан;
- 2) жартылай байланысқан;
- 3) байланыс жоқ

диссертациялық жұмысы кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертациялық жұмыстың барлық тараулары тақырып бойынша жүйелі түрде бір-бірімен байланысқан, қойылған міндеттері мен мақсаты толығымен орындалған. Жұмыстың бірінші тарауында жан-жақты шолу оналту саласындағы экзоскелет дизайнның заманауи ландшафтына тереңірек үңіліп, жаңа тенденцияларды көрсетілді және болашақ ықтимал траекториялар белгіленді. Тобық буын экзоскелеттерінде қолданылатын жасанды бұлшықет технологияларының спектрін қамтитын мұқият шолу жасалды. Бұған пневматикалық және гидравликалық жетектер, сериялық серпімді жетектер және электрлік сызықтық жетектер кірді. Олардың ішінде дәлдігімен, тиімділігімен және экзоскелеттің күрделі архитектурасына тегіс интеграциялану мүмкіндігімен ерекшеленетін электрлік сызықтық жетектер таңдалынды.

Екінші тарауда SolidWorks бағдарламалық жасақтамасын Motion Simulation қондырмасымен бірге пайдалану арқылы электрлік сызықтық жетекпен басқарылатын тобық буын экзоскелетін модельдеп және имитациялық нәтижелері талданды. Сомов-Мальшев формуласына сәйкес кеңістікте кинематикалық құрылым үшін механизмнің кинематикасы ұсынылды. Тобық буын экзоскелетінің қозғалыс динамикасының математикалық моделі, электр жетегіндегі сызықтықты ескере отырылып ұсынылды.

Үшінші тарауда тобық буын экзоскелетінің прототипі ретінде материал PLA таңдалынды, тобық буын экзоскелетінің электроникасы сипатталып оның басқару және бағдарламалық қамтамасыз ету алгоритмін әзірленді.

Төртінші тарауда тобық буын экзоскелетін эксперименттік зерттеу мен функционалды тестілеу яғни, тобық буыны қозғалыстарының табанның төмен қарай иілуі мен табанның жоғары қарай иілуі нәтижелерді талқыланды.

Қорытындыда диссертациялық зерттеудің алынған нәтижелері мен қорытындылары ұсынылған, таңдалған бағыт бойынша одан әрі жұмыс жоспарлары көрсетілген..

4.5 Автор ұсынған жаңа шешімдер

Белгілі шешімдерге сыни талдау арқылы автор диссертациялық

		<p>(қағидаттар, әдістер) дәлелденіп, бұрыннан белгілі шешімдермен салыстырылып бағаланған:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>сыни талдау бар</u>;</li> <li>2) талдау жартылай жүргізілген;</li> <li>3) талдау өз пікірін емес, басқа авторлардың сілтемелеріне негізделген</li> </ol>	<p>жұмысында қойылған мақсаты мен міндеттерін және зерттеу нәтижелерін алу әдістерін көрсететін өз қағидаттарын ұсынды және тәжірибе жүзінде дәлелдеді. Атап айтқанда, тобық буын экзоскелетінің қозғалыс динамикасының математикалық моделі, электр жетегіндегі сызықтықты ескере отырып. Жасанды бұлшықеттер мен басқару жүйесін қамтитын және ұтқырлықты жақсарту және емдеуді жеделдету үшін функционалдық талаптарға жауап беретін экзоскелет дизайнының функционалды прототипі. Экзоскелеттің қозғалыс ауқымын, қажетті күштерді және басқа функционалдық талаптарды анықтау үшін тобық биомеханикалық талдауы. Жасанды бұлшықеттердің жұмысын эксперименттер мен сынақтар арқылы оңтайландыру, олардың тобық буынына жеткілікті қарсылық пен көмек көрсететініне көз жеткізу. Тобық буын қозғалысын анықтауға арналған сенсорларды, жасанды бұлшықеттерді басқаруға арналған процессорды және қуат көзін қамтитын басқару жүйесін әзірлеу. Экзоскелетті әртүрлі жүктемелермен және әртүрлі жағдайларда оның талаптарға сай екеніне және ұтқырлық пен өмір сапасын жақсартуда тиімді екеніне көз жеткізу үшін сынау.</p> <p>Тұтастай алғанда, нәтижелер зерттеудің нақты бағытына және мақсатты қолдануға байланысты болады, бірақ мақсат-ұтқырлығы бұзылған адамдардың ұтқырлығы мен өмір сүру сапасын жақсартатын, емделуге және оңалтуға ықпал ететін және спорттық өнімділікті жақсартатын тиімді экзоскелет дизайнын жасау..</p>
5.	Ғылыми жаңашылдық принципі	<p>5.1 Ғылыми нәтижелер мен қағидаттар жаңа болып табыла ма?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>толығымен жаңа</u>;</li> <li>2) жартылай жаңа (25-75% жаңа болып табылады);</li> <li>3) жаңа емес (25% кем жаңа болып табылады)</li> </ol>	<p>Докторанттың ұсынған ғылыми нәтижелері мен тұжырымдарының жаңалығы бар деп санаймын. Диссертациялық жұмыста алғаш рет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Электрлік сызықтық жетектері бар тобық экзоскелеттерінің тиімділігін, бейімделуін және қауіпсіздігін арттыратын жаңа басқару алгоритмдерін маңызды ғылыми үлес деп санауға болады. Мұндай алгоритмдер осы құрылғыларды қалай тиімді басқаруға болатындығы туралы жаңа түсінік бере алады.</li> <li>- Тобық буын экзоскелетінде сызықтық электр жетегін басқарудың энергия тиімділігін айтарлықтай жақсартатын жаңа принциптерді әзірлеу жаңа үлес болуы мүмкін. Бұл энергияны басқару мен басқарудың инновациялық тәсілдерін қамтуы</li> </ul>

			<p>мүмкін.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Пайдаланушыға бағытталған дизайн тобық экзоскелеттерінің электрлік сызықтық жетегін басқару контекстінде пайдаланушыға бағытталған дизайнды, ыңғайлылықты және жайлылықты көрсететін принциптер инновациялық.</li> <li>- Тобық экзоскелетіне пайдаланушының қозғалысына және нақты уақыттағы физиологиялық сигналдарға жауап беруге мүмкіндік беретін адаптивті басқару жүйелерін әзірлеу революциялық болуы мүмкін. Бұл жүйелер адам мен роботтың өзара әрекеттесуі мен басқарушының жаңа принциптерін енгізе алады.</li> <li>- Практикалық қолдануға әкелетін ғылыми принциптер, оңалтудың тиімді құралдарын жасау өте өзекті және инновациялық болуы мүмкін.</li> <li>- Робототехника, биомеханика, материалтану және оңалту медицинасы сияқты салалардағы білімді біріктіретін пәнаралық ынтымақтастық жаңа ғылыми принциптер мен идеяларға әкеледі.</li> </ul>
		<p>5.2 Диссертацияның қорытындылары жаңа болып табыла ма?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>толығымен жаңа</u>;</li> <li>2) жартылай жаңа (25-75% жаңа болып табылады);</li> <li>3) жаңа емес (25% кем жаңа болып табылады)</li> </ol>	<p>Диссертацияда алынған ғылыми нәтижелер мен тұжырымдар толығымен жаңа болып табылады, сәйкесінше, зерттеу барысында қол жеткізген нәтижелер сандық көрсеткіштермен келтірілген. Зерттеу нәтижесінде электрлік сызықтық жетектері бар тобық буын экзоскелетін басқарудың инновациялық стратегияларын ұсынатын және қолдайтын тұжырымдарды жаңа деп санауға болады. Бұл стратегиялар бұрын зерттелмеген тәсілдермен құрылғылардың тиімділігін, бейімделуін немесе қауіпсіздігін арттыра алады.</p>
		<p>5.3 Техникалық, технологиялық, экономикалық немесе басқару шешімдері жаңа және негізделген бе?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>толығымен жаңа</u>;</li> <li>2) жартылай жаңа (25-75% жаңа болып табылады);</li> <li>3) жаңа емес (25% кем жаңа болып табылады)</li> </ol>	<p>Техникалық, әдістемелік және басқару шешімдері толықтай жаңа және негізделген. Атап айтқанда, электрлік сызықтық жетекті басқару контекстінде пайдаланушыға бағытталған дизайн мен ыңғайлылығы баса назар аудару инновациялық шешім. Экзоскелет пайдаланушылардың жеке қажеттіліктері мен қалауларына бейімдеу бойынша ұсыныстар жаңа принциптерді қамтыуда мүмкін.</p> <p>Диссертациялық жұмысты орындау нәтижесінде пайдалы модельге патент алынған.</p>

6.	Негізгі қорытындылардың негізділігі	Барлық қорытындылар ғылыми тұрғыдан қарағанда ауқымды дәлелдемелерде <u>негізделген/негізделмеген</u> (qualitative research және өнертану және гуманитарлық бағыттары бойынша)	Диссертациялық жұмыста келтірілген тұжырымдар ғылыми тұрғыдан сандық нәтижелермен және салыстыру әдісі арқылы дәлелденген. Жұмыс тиянақты, түсінікті және тәжірибелік дәлелдермен жазылған, тандалған әдістер, алынған нәтижелер негізделген.
7.	Қорғауға шығарылған негізгі қағидағтар	<p>Әр қағидат бойынша келесі сұрақтарға жауап беру қажет:</p> <p>7.1 Қағидат дәлелденді ме?</p> <p>1) <u>дәлелденді</u>;</p> <p>2) шамамен дәлелденді;</p> <p>3) шамамен дәлелденбеді;</p> <p>4) дәлелденбеді</p> <p>7.2 Тривиалды ма?</p> <p>1) <u>ия</u>;</p> <p>2) <u>жоқ</u></p> <p>7.3 Жаңа ма?</p> <p>1) <u>ия</u>;</p> <p>2) <u>жоқ</u></p> <p>7.4 Қолдану деңгейі:</p> <p>1) тар;</p> <p>2) орташа;</p> <p>3) <u>кең</u></p> <p>7.5 Мақалада дәлелденген бе?</p> <p>1) <u>ия</u>;</p> <p>2) <u>жоқ</u></p>	<p>7.1 Қорғауға шығарылатын негізгі қағидағтар диссертацияда ұсынылған нәтижелермен дәлелденеді. Тәжірибе нәтижелері негізінде dorsі мен plantar flexion иілу конфигурациясында тобық экзоскелетін функционалды тестілеу ұсынылды.</p> <p>7.2 Диссертациялық жұмыста тривиалдылық жоқ. Тәжірибе барысында алынған барлық заңдылықтар мен ерекшеліктер заманауи ғылыми әдістерге және мағлұматтарға негізделген.</p> <p>7.3 Қорғауға шығарылатын қағидалар жаңа болып табылады.</p> <p>7.4 Қолдану деңгейі кең. Зерттеу жұмысында алынған нәтижелер жаһандық оңалту жүйелердің жұмысын оңтайландыру үшін қолдануда үлкен мүмкіндік береді.</p> <p>7.5 Диссертациялық жұмысты орындау барысында алынған нәтижелер 16 ғылыми жұмыста келтірілген. Соның ішінде соның ішінде SCOPUS деректер қорына кіретін журналда 1 мақала (процентиль 38%), SCOPUS деректер қорына кіретін халықаралық конференцияларда 4 мақала, ҚР БҒМ БҒСҚҚ ұсынған басылымдарда 1 мақала, ҚР өнертабысқа арналған 1 патентте, басқа басылымдарда 1 мақала жарияланған.</p>
8.	Дәйектілік принципі Дереккөздер мен ұсынылған ақпараттың дәйектілігі	<p>8.1 Әдістеменің таңдауы - негізделген немесе әдіснама нақты жазылған</p> <p>1) <u>ия</u>;</p> <p>2) <u>жоқ</u></p> <p>8.2 Диссертация жұмысының нәтижелері компьютерлік технологияларды қолдану арқылы ғылыми зерттеулердің қазіргі заманғы әдістері мен деректерді өңдеу және интерпретациялау әдістемелерін</p>	<p>Диссертациялық жұмыста қолданылған әдістер мен әдістемелік тәсілдер толығымен сипатталған. Әртүрлі деректер көздеріне жан-жақты шолу жасалған.</p> <p>Диссертациялық жұмыста компьютерлік 3D (үш өлшемді) пішімдерді әзірлеу бағдарламасы ортасында прототип сызылып механизмнің құрылымын модельдеу барысында алынған мәндерін шынайы тәжірибелік мағлұматтармен салыстыру әдісі орындалып, сәйкестендірілген. Сондай-ақ, жүйенің электронды басқару</p>

		<p>пайдалана отырып алынған:</p> <p>1) <u>иә</u>;</p> <p>2) жок</p>	<p>құрылымы ең алдымен SolidWorks Motion бағдарламасында моделі жасалып имитациялық мәндер есептелінген.</p>
		<p>8.3 Теориялық қорытындылар, модельдер, анықталған өзара байланыстар және заңдылықтар эксперименттік зерттеулермен дәлелденген және расталған (педагогикалық ғылымдар бойынша даярлау бағыттары үшін нәтижелер педагогикалық эксперимент негізінде дәлелденеді):</p> <p>1) <u>иә</u>;</p> <p>2) жок</p>	<p>Диссертациялық жұмыстағы теориялық қорытындылар, модельдер, анықталған өзара байланыстар және заңдылықтар өзіндік зерттеулерімен дәлелденген және ғылыми жарияланымдарда бар болуымен расталады.</p>
		<p>8.4 Маңызды мәлімдемелер нақты және сенімді ғылыми әдебиеттерге сілтемелермен <u>расталған</u> / ішінара расталған / расталмаған</p>	<p>Н.Т. Жетенбаевтың диссертациялық жұмысындағы барлық негізгі, маңызды мәлімдемелер ғылыми әдебиетке сілтемелермен расталған.</p>
		<p>8.5 Пайдаланылған әдебиеттер тізімі әдеби шолуға <u>жеткілікті</u>/жеткіліксіз</p>	<p>Диссертациялық жұмыста пайдаланылған әдебиет тізімі 155. Барлық әдеби дереккөздер ғылыми өзекті материалдарды қамтиды және диссертация тақырыбына аналитикалық әдеби шолу жүргізуге жеткілікті.</p>
9	Практикалық құндылық принципі	<p>9.1 Диссертацияның теориялық маңызы бар:</p> <p>1) <u>иә</u>;</p> <p>2) жок</p>	<p>Диссертациялық жұмыстың теориялық маңыздылығы жоғары. Зерттеу барысында алынған нәтижелер экзоскелет құрылымын және электронды басқару бөлігін жобалауда үлкен үлес қосады.</p>
		<p>9.2 Диссертацияның практикалық маңызы бар және алынған нәтижелерді практикада қолдану мүмкіндігі жоғары:</p> <p>1) <u>иә</u>;</p> <p>2) жок</p>	<p>Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелерге сүйене отырып, экзоскелетті оңалту жүйесінде қолдану, сондай-ақ, зерттеу жұмысында жасалған басқару жүйесін қазіргі уақытта қолданыста бар құрылғыларға яғни, электрлі сықықты жетекті орнату мүмкіндіктері жоғары.</p>
		<p>9.3 Практикалық ұсыныстар жаңа болып табылады?</p> <p>1) <u>толығымен жаңа</u>;</p>	<p>Практикалық ұсыныстар толығымен жаңа. Осыған дейінгі зерттеу жұмыстарында мұндай мағлұматтар келтірілмеген.</p>

		2) жартылай жаңа (25–75% жаңа болып табылады); 3) жаңа емес (25% кем жаңа болып табылады)	
10.	Жазу және ресімдеу сапасы	Академиялық жазу сапасы: 1) жоғары; 2) орташа; 3) орташадан төмен; 4) төмен.	Диссертациялық жұмыс сауатты ғылыми-техникалық тілде, түсінікті стильде жазылған және оңай оқылады. Негізгі тұжырымдар сенімді және толықтай аяқталған.

Ресми рецензеттің ұсынысы:

- Диссертациялық жұмыста жасалған сызықтық электрлік жетек арқылы басқарылатын оңалтуға арналған тобық буын экзоскелеті үздіксіз тәжірибе жұмыстарын жүргізу арқылы тиімділігін арттыру қажет;
- Оңалтуға арналған тобық буын экзоскелеттің барлық түрлерін салыстыру арқылы артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау қажет;

Дегенмен, аталған ұсыныстар диссертациялық жұмыстың ғылыми құндылығын төмендетпейді.

Ресми рецензенттің шешімі:

Жетенбаев Нұрсұлтан Талғатұлына «Тобық экзоскелетін жасанды бұлшық етті қолдану арқылы жасау» тақырыбындағы диссертациялық жұмысы үшін 6D071600 – «Аспап жасау» мамандығы бойынша

**1) философия докторы (PhD) дәрежесін беру ұсынылады.**

**Ресми рецензент:**

«Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Зерттеу Университеті»  
Техника ғылымдарының докторы, профессор



Байгунчеков Жумадил Жанабаевич