«8D06102 – Компьютерлік инженерия» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне іздену үшін ұсынылған Мустафин Максат Бейбитовичтің «Диффузия теңдеуін физикаға негізделген нейрондық желілерді қолданып шешу арқылы бейімделген құрылымдалған тор құру» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына ресми

РЕЦЕНЗЕНТТІҢ ЖАЗБАША ПІКІРІ

р/н №	Өлшемшарттар	Өлшемшарттарға сәйкестігі (жауап нұсқаларының бірін сызу)	Ресми рецензенттің ұстанымына негіздеме (ескертуді курсивпен көрсету)
	Диссертация тақырыбының (бекіту күніне) ғылымның даму бағыттарына және/немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкес болуы	1.1 Ғылымды дамытудың басым бағыттарына және/немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі: 1) диссертация мемлекет бюджетінен қаржыландырылатын жобаның немесе нысаналы бағдарламаның аясында орындалған (жобаның немесе бағдарламаның атауы мен нөмірін көрсету); 2) диссертация басқа мемлекеттік бағдарлама аясында орындалған (бағдарламаның атауын көрсету); 3) диссертация Қазақстан Республикасының Үкіметі жанындағы Жоғары ғылыми-техникалық комиссия бекіткен ғылым дамуының басым бағытына сәйкес (бағытын көрсету) келеді.	Ғылымды дамытудың басым бағыттарына сәйкес. Диссертация «0124РК00207 – Құрылымдалмаған адаптивті торларды жоғары өнімді құру және визуализациялау» атты мемлекеттік қаржыландыру жобасының ғылыми мақсатына сәйкес жүзеге асқан. Диссертация тақырыбы Қазақстандағы сандық технологиялар, есептеулерді жеделдету, жасанды интеллект және күрделі физикалық модельдерді сандық әдістермен шешу салаларының стратегиялық даму басымдықтарымен толық ұштасады. Жұмыс ұлттық ғылыми саясаттағы «Цифрлық трансформация» және жоғары өнімді есептеулерді дамыту бағыттарының мазмұнына сай келеді.
2.	Ғылым үшін маңыздылығы	Жұмыс ғылымға елеулі үлесін қосады/қоспайды, ал оның маңыздылығы ашылған/ашылмаған.	Жұмыстың ғылыми құндылығы жоғары деңгейде ашылған. Диссертация адаптивті торларды қалыптастырудағы классикалық теңдеулер мен заманауи PINN

			әдістерін біріктіретін жаңа парадигманы ұсынады. Бұл бағыттағы нәтижелер тек теориялық үлес емес, есептеу математикасы мен инженерлік модельдеуде жаңа мүмкіндіктер қалыптастырады.
3.	Өзі жазу принципі	Өзі жазу деңгейі: 1) жоғары; 2) орташа; 3) төмен; 4) өзі жазбаған.	Ізденуші зерттеудің барлық кезеңдерін — теориялық негіздеуді, алгоритмдерді құрастыруды, PINN/MPINN үлгілерін әзірлеуді, сандық эксперименттерді орындауды — толықтай өзі жүзеге асырған.
4.	Ішкі бірлік принципі	4.1 Диссертация өзектілігінің негіздемесі: 1) негізделген; 2) ішінара негізделген; 3) негізделмеген.	Өзектілік нақты түрде дәлелденген. Атап айтқанда, бейімделген есептік торлар қазіргі PDE шешу әдістерінің дәлдігін едәуір арттырады және есептеу шығынын азайтуға мүмкіндік береді.
		4.2 Диссертация мазмұны диссертация тақырыбын айқындайды: 1) айқындайды; 2) ішінара айқындайды; 3) айқындамайды.	Мазмұны зерттеу тақырыбын толық ашып көрсетеді. Бөлімдер жүйелі орналасқан, теориялық және тәжірибелік блоктардың арасында айқын байланыс бар.
		4.3. Мақсаты мен міндеттері диссертация тақырыбына сәйкес келеді: 1) сәйкес келеді; 2) ішінара сәйкес келеді; 3) сәйкес келмейді.	Мақсат пен міндеттер пәндік аймаққа дәл келеді. Ізденуші мақсатқа жету үшін: - мазмұнды әдеби шолу жасаған, - математикалық модельдер құрған, - тәжірибелік зерттеулердің толық спектрін орындаған, - әдістерді салыстырмалы талдау арқылы бағалаған,

			- алынған нәтижелерді валидациялаған. Бұл ғылыми жұмысты толық аяқталған зерттеу ретінде сипаттайды.
		4.4. Диссертацияның барлық бөлімдері мен ережелері логикалық байланысқан:	Барлық құрылымдық элементтер өзара үйлеседі. Зерттеу «әдебиет - модель - әдіс - эксперимент - қорытынды» логикасымен ұйымдастырылған.
		1) толық байланысқан;	
		2) ішінара байланысқан;	
		3) байланыс жоқ.	
		4.5 Автор ұсынған жаңа шешімдер (қағидаттар, әдістер) дәлелденіп, бұрыннан белгілі шешімдермен салыстырылып бағаланған:	Жаңа шешімдер (MPINN, ADF-функция, қатты шекаралық шарттарды енгізу) ғылыми тұрғыдан негізделген. Автор бұрыннан белгілі әдістерді салыстырып, олардың артықшылықтары мен шектеулерін сыни тұрғыдан талдайды.
		1) сыни талдау бар;	
		2) талдау ішінара жүргізілген;	
		3) талдау өз пікіріне емес, басқа авторлардың сілтемелеріне негізделген;	
		4) талдау жоқ.	
5.	Ғылыми жаңашылдық принципі	5.1 Ғылыми нәтижелер мен ережелер жаңа ма?	Ғылыми нәтижелер толықтай жаңа. PINN және MPINN әдістерін диффузия теңдеуі арқылы тор генерациялауға бағыттап қолдану — алғаш рет толыққанды әдіс ретінде ұсынылып отыр.
		1) толығымен жаңа;	
		2) ішінара жаңа (25-75% жаңа);	
		3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	
		5.2 Диссертацияның қорытындылары жаңа ма?	Қорытындылар жаңа нейрожелілік модельдердің бейімделу тиімділігі туралы нақты сандық қорытындыларға негізделеді.
		1) толығымен жаңа;	
		2) ішінара жаңа (25-75% жаңа);	
		3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	
		5.3 Техникалық, технологиялық, экономикалық немесе басқару шешімдері жаңа және негізделген бе?	ADF-маска арқылы нейрожелілік архитектура деңгейінде шекараны қатаң бекіту — инженерлік және

		1) толығымен жаңа; 2) ішінара жаңа (25-75% жаңа); 3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	есептеу тұрғысынан жаңа тәсіл. Бұл әдіс диссертацияның басты техникалық жетістігі.
6.	Негізгі қорытындылардың негізділігі	Барлық негізгі қорытындылар ғылыми тұрғыдан қарағанда ауқымды дәлелдемелерде негізделген/негізделмеген (qualitative research (куолитатив ресеч) және өнер және гуманитарлық ғылымдар бойынша даярлық бағыттары үшін).	Нәтижелер RMSE, максималды айырмашылық, тор интервалдарының құрылымы, PDE қалдығы сияқты объективті метрикалармен дәлелденген. Бір өлшемді есепте аналитикалық шешіммен салыстыру, екі өлшемді есепте эталондық сандық әдіспен салыстыру орындалған.
7.	Қорғауға шығарылған негізгі ережелер	Әрбір ереже бойынша келесі сұрақтарға жеке жауап беру қажет: 7.1 Ереже дәлелденді ме? 1) дәлелденді; 2) шамамен дәлелденді; 3) шамамен дәлелденбеді; 4) дәлелденбеді; 5) бұл тұжырымда ереженің дәлелденгенін тексеру мүмкін емес. 7.2 Тривиалды ма? 1) ия; 2) жоқ; 3) бұл тұжырымда ереженің тривиалды екенін тексеру мүмкін емес. 7.3 Жаңа ма? 1) ия; 2) жоқ; 3) бұл тұжырымда ереженің жаңашылдығын тексеру мүмкін емес. 7.4 Қолдану деңгейі:	Қорғауға ұсынылған тұжырымдамалар: Тұжырым 1 PINN арқылы диффузиялық модель негізінде бейімделген тор құру 7.1 Дәлелденді ме? Иә. Модель аналитикалық шешіммен жоғары дәлдікпен сәйкес келеді. 7.2 Тривиалды ма? Жоқ. Әдіс күрделі PDE–NN интеграциясын талап етеді. 7.3 Жаңашылдығы бар ма? Иә. Бұл тәсіл тор бейімдеу үшін PINN-ді жаңа мақсатта қолданған. 7.4 Қолдану деңгейі қандай? Кең. кез келген бірөлшемді және екіөлшемді торларға бейім. 7.5 Мақалада дәлелденген бе? Иә. Scopus мақаласында жарияланған мақалада толық көрсетілген.

		1) тар;	Тұжырым 2 Шекаралық шарттарды дәл орындауға арналған MPINN архитектурасының енгізілуі 7.1 Дәлелденді ме? Иә. Модель шекаралық шарттарды жоғары дәлдікпен орындайды. 7.2 Тривиалды ма? Жоқ. Бұл арнайы геометриялық маскалауды талап ететін күрделі тәсіл. 7.3 Иә. MPINN архитектурасы — диссертацияның негізгі жаңалығы. 7.4 Қолдану деңгейі қандай? Кең. 1D, 2D есептік торлар үшін әмбебап. 7.5 Иә. Жарияланған ғылыми еңбектерде әдіс расталған.
		2) орташа;	
		3) кең	
		4) бұл тұжырымда ереженің қолдану деңгейін тексеру мүмкін емес.	
		7.5 Мақалада дәлелденген бе?	
		1) ия;	
		2) жоқ	
		3) бұл тұжырымда мақаладағы ереженің дәлелденгенін тексеру мүмкін емес.	
8.	Дәйектілік қағидаты.	8.1 Әдіснаманы таңдау – негізделген немесе әдіснама нақты жазылған:	PINN және MPINN тәсілдерін қолдану — диффузиялық бейімделу моделі үшін ғылыми негізделген, заманауи және дәл таңдалған әдіс.
	Дереккөздер мен ұсынылған ақпараттың дәйектілігі	1) ия;	
		2) жоқ.	
		8.2 Диссертация жұмысының нәтижелері компьютерлік технологияларды қолдану арқылы ғылыми зерттеулердің қазіргі заманғы әдістері мен деректерді өңдеу және интерпретациялау әдістемелерін пайдалана отырып алынған:	Python, PyTorch, автоматты дифференциалдау, нейрондық есептеу, GPU есептеулер — қазіргі ғылыми стандарттарға толық сай.
		1) ия;	
		2) жоқ.	

		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):	Барлық теориялық тұжырымдар сандық есептеулермен расталған, әсіресе 2D тәжірибелерде.
		1) ия;	
		2) жоқ.	
		8.4 Маңызды мәлімдемелер нақты және сенімді ғылыми әдебиеттерге сілтемелермен расталған / ішінара расталған / расталмаған.	Диссертацияда отандық және шетелдік 60-тан астам беделді дереккөз пайдаланылған.
		8.5 Пайдаланылған әдебиеттер тізімі әдеби шолуға жеткілікті/жеткіліксіз.	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі әдеби шолуға жеткілікті. Әдебиеттер жұмыстың теориялық негізін толық ашуға жеткілікті.
9	Практикалық құндылық қағидаты	9.1 Диссертацияның теориялық маңызы:	Зерттеу бейімделген тор генерациясын нейрожелілік әдістермен біріктіріп, PINN/MPINN моделін теориялық тұрғыдан жаңа деңгейге көтереді.
		1) бар;	
		2) жоқ.	
		9.2 Диссертацияның практикалық маңызы бар және алынған нәтижелерді практикада қолдану мүмкіндігі жоғары:	Әдістер инженерлік және ғылыми есептерде торды автоматты бейімдеуге мүмкіндік беріп, есептеу тиімділігін едәуір арттырады.
		1) ия;	
		2) жок.	
		9.3 Практикалық ұсыныстар жаңа ма?	ADF–маска және MPINN архитектурасы торды шекарамен дәл сәйкестендіретін жаңа техникалық шешім ретінде ұсынылған.
		1) толығымен жаңа;	
		2) ішінара жаңа (25-75% жаңа);	
		3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	
10.	Жазу және ресімдеу сапасы	Академиялық жазу сапасы:	Жұмыс академиялық талаптарға толық сәйкес рәсімделген, баяндау тілі ғылыми, құрылымы түсінікті.
		1) жоғары;	
		2) орташа;	

		3) орташадан төмен; 4) төмен.	
11.	Диссертацияға ескертулер		Жалпы ескертулер зерттеу сапасына әсер етпейді, тек ұсыныс ретінде: 1. кейбір графиктердегі масштабты реттеген жөн – салыстыруды жеңілдетеді; 2. екі өлшемді есептердегі бейімделу визуализациясы үшін қосымша түстердің контрасты күшейтілсе, интервалдар айқынырақ көрінеді. Бұл ескертулер жұмыстың мазмұны мен ғылыми нәтижелерінің сапасына еш әсер етпейді.
12.	Докторант мақалаларының зерттеу тақырыбы бойынша ғылыми деңгейі (диссертация мақалалар сериясы нысанында қорғалған жағдайда ресми рецензенттер докторанттың зерттеу тақырыбы бойынша әр мақаласының ғылыми деңгейін зерделейді)		Мақалалары халықаралық индекстелетін журналдарда жарияланған, ғылыми деңгейі жоғары және диссертация мазмұнына сай келеді.
13.	Ресми рецензенттің шешімі (осы Үлгі ереженің 28-тармағына сәйкес)		«8D06102 – Компьютерлік инженерия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді, қорғауға ұсынуға болады.

Ресми рецензент:
PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК
Ақпараттық және есептеу технологиялары институты _____ **Байшемиров Жарасбек Дуйсембекович**

КАДР БӨЛІМІ