«8D05405 – Есептеу ғылымдары және статистика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне іздену үшін ұсынылған Керімақын Айнұр - «Геометриясы күрделі облыстардағы есептеу гидродинамикасы есетерін бейімдегіш торлар әдісімен шешу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына ресми

РЕЦЕНЗЕНТТІҢ ЖАЗБАША ПІКІРІ

р/н №	Өлшемшарттар	Өлшемшарттарға сәйкестігі (жауап нұсқаларының бірін сызу)	Ресми рецензенттің ұстанымына негіздеме (ескертуді курсивпен көрсету)
1.	Диссертация тақырыбының (бекіту күніне) ғылымның даму бағыттарына және/немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкес болуы	1.1 Ғылымды дамытудың басым бағыттарына және/немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі:	Диссертация ғылымның даму бағыттарына сәйкес келеді. Диссертация мемлекет қаржыландыратын AP23490027 – «Күрделі аймақтардағы Навье-Стокс теңдеулерін сандық шешуге арналған қолданбалы бағдарламалар кешенін әзірлеу» (2024-2026) жобасы шеңберінде орындалды.
		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.	
2.	Ғылым үшін маңыздылығы	Жұмыс ғылымға елеулі үлесін қосады, ал оның маңыздылығы ашылған.	Жұмыс күрделі пішінді екіөлшемді облыстардағы сұйық ағындарын адаптивті торлар әдістерімен модельдеудің сандық әдістерін дамытуға елеулі үлес қосады.
3.	Өзі жазу принципі	Өзі жазу деңгейі:	Ұсынылған жұмыс дербес орындалған. Барлық негізгі нәтижелер мен тұжырымдарды автор жеке өзі алған.
		1) **жоғары;**	
		2) орташа;	
		3) төмен;	

		4) өзі жазбаған.	Бұл автордың жарияланымдармен және жұмыстың мазмұнымен расталады.
4.	Ішкі бірлік принципі	4.1 Диссертация өзектілігінің негіздемесі:	Диссертация тақырыбы өзекті, өйткені қарастырылып отырған модельдер көпкомпонентті сұйықтардың кеуекті катализаторлар немесе сүзгілер арқылы ағу үдерістерін сипаттауда қолданылады. Бұл модельдер, мысалы, машина жасау саласында қолданыс табады. Ортогоналды қисық сызықты тор сұйықтар ағынын моделдеуге тиімді үлес қосады.
		1) **негізделген**;	
		2) ішінара негізделген;	
		3) негізделмеген.	
		4.2 Диссертация мазмұны диссертация тақырыбын айқындайды:	Диссертация мазмұны зерттеу тақырыбын толық айқындайды және оның негізгі ғылыми идеялары мен нәтижелерін қамтиды.
		1**) айқындайды;**	
		2) ішінара айқындайды;	
		3) айқындамайды.	
		4.3. Мақсаты мен міндеттері диссертация тақырыбына сәйкес келеді:	Зерттеу жұмысының мақсаты мен міндеттері диссертация тақырыбының мазмұнына толық сәйкес келеді. Ізденуші зерттеу тақырыбына сай ғылыми мақсатты нақты және айқын тұжырымдаған, міндеттер жүйелі қарастырылып, өз шешімін тапқан.
		1) **сәйкес келеді;**	
		2) ішінара сәйкес келеді;	
		3) сәйкес келмейді.	
		4.4. Диссертацияның барлық бөлімдері мен ережелері логикалық байланысқан:	Жұмыс кіріспеден, үш негізі бөлімнен, әдебиеттер тізімнен және қосымшалардан тұрады. Жұмыстың барлық бөлімдері өзара логикалық байланысқан және зерттеу мақсаты мен міндеттеріне сәйкес құрылған.
		1) **толық байланысқан;**	
		2) ішінара байланысқан;	
		3) байланыс жоқ.	

		4.5 Автор ұсынған жаңа шешімдер (қағидаттар, әдістер) дәлелденіп, бұрыннан белгілі шешімдермен салыстырылып бағаланған:	Автор ұсынған қисықсызықты тордағы есептеу әдісіне сыни талдау жүргізіліп, белгілі шешімдермен салыстырылған. Жалпы қабылданатын тестілік есептер негізінде ұсынылған әдістің артықшылықтары көрсетілген.
		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?	Келесі тұжырымдалған ғылыми қағидалар жаңа болып табылады: Навье–Стокс–Бринкман моделінің әлсіз шешімі үшін есеп деректеріне үздіксіз тәуелділігін бағалау, жартылай дискретті модель үшін априорлық бағалауларды алу, сондай-ақ Навье–Стокс–Бринкман моделі бойынша ағынды есептеу үшін қисықсызықты ортогональ координаталар жүйесін қолдану. Алынған әдіс Рейнольс санының жоғары 10000 дейінгі мәндері үшін тұрақты шешім беретіні бұл амалдың ерекше құндылығын көрсетеді. Жұмыстың ерекшелігі мен классикалық адаптивті торлардан айырмашылығы келесі: мұнда тор ағын градиенттеріне динамикалық түрде бейімделмейді, керісінше стационарлық болады және тек есептеу облысының геометриясына бейімделеді. Бұл есепті шешуге дейін торды құруға және барлық геометриялық сипаттамаларды (нүктелердегі метрикалық тензор
		1) **толығымен жаңа;**	
		2) ішінара жаңа (25-75% жаңа);	
		3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	

			компоненттерін, оның анықтауышын және Ламе коэффициенттерін) алдын ала дайындап қоюға мүмкіндік береді. Торды есепті шешуге дейін құру динамикалық адаптивті тормен салыстырғанда есептеу уақытын үнемдейді. Басқа амалдармен салыстырғанда, есептеу шығындары адаптивті тордың есептеу дәлдігі бойынша артықшылығы бар екені көрсетілген. Тордың ортогоналдығы бастапқы модельді қисықсызықты координаталарда жазуды жеңілдетіп, соның нәтижесінде сандық алгоритмді де жеңілденеді.
		5.2 Диссертацияның қорытындылары жаңа ма?	Қорытындылар алынған жаңа нәтижелерге негізделген және жаңашылдығымен ерекшеленеді.
		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?	Диссертацияның тақырыбы ортогоналды торды Навье-Стокс-Бринкман есебін күрделі облыста қисық сызықты түрлендіру арқылы ортогонал тор тұрғызып шешу жаңа технологиясын ұсынады. Алынған әдіс Рейнольс санының жоғары 10000 дейінгі мәндері үшін тұрақты шешім беретіні бұл амалдың ерекше құндылығын көрсетеді.
		1) толығымен жаңа;	
		2) ішінара жаңа (25-75% жаңа);	
		3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	

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).	Негізгі қорытындылар көптеген сандық эксперименттердің нәтижелерімен және стандартты тестілік есептермен салыстыру арқылы негізделген және алынған нәтижелер күмән тудырмайды.
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: 1) тар; 2) **орташа**; 3) кең 4) бұл тұжырымда ереженің қолдану деңгейін тексеру мүмкін емес.	7.1 Диссертациялық жұмыстағы негізгі нәтижелер толық дәлелденген. Шешімдердің жалпыланған қойылымдағы және жартылай дискретті түрдегі бағалаулары қатаң түрде дәлелденген. 7.2 Көп көлемдегі күрделі әрі еңбекті көп қажет ететін түрлендірулер мен есептеулер орындалған. Тривиалды емес нәтижелер алынған. 7.3 Қорғауға ұсынылған нәтижелер жаңа 7.4 Қолдану деңгейі орташа болып табылады. Себебі есептеу облысының геометриясына бейімделген ортогональ тордың функционалдық мүмкіндіктерін тексеру үшін әзірше тек модельдік есеп қана шешілген. Сонда да автор әзірлеген бағдарламалар мен

		7.5 Мақалада дәлелденген бе?	әдістемелер осыған ұқсас есептерді шешуде қолданылуы мүмкін. 7.5 Жұмыстың тұжырымдары мақалаларда дәлелденген
		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:	Әдіснама ортогональ торларды генерациялаудың классикалық әдістеріне және жалпыланған шешімдер теориясына негізделген, әрі жеткілікті түрде толық сипатталған.
	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:	Диссертация жұмысының нәтижелері компьютерлік технологияларды қолдану арқылы ғылыми зерттеулердің қазіргі заманғы әдістемелерін пайдалана отырып алынған: FEniCS заманауи платформасы, Python11 тілі мен оның біріктірілген саймандары, Jupiter ортасы қолданылған.
		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):	Теориялық қорытындылар сандық эксперименттердің нәтижелерімен расталған.
		1) **ия;**	
		2) жоқ.	
		8.4 Маңызды мәлімдемелер нақты және сенімді ғылыми әдебиеттерге сілтемелермен және ішінара расталған	Тұжырымдар өзекті әрі сенімді ғылыми әдебиеттерге жасалған сілтемелермен расталған.
		8.5 Пайдаланылған әдебиеттер тізімі әдеби шолуға жеткілікті/жеткіліксіз.	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі әдеби шолуға жеткілікті.

9	Практикалық құндылық қағидаты	9.1 Диссертацияның теориялық маңызы:	Зерттеудің қазіргі кезеңінде диссертация негізінен теориялық маңызы бар.
		1) **бар**;	
		2) жоқ.	
		9.2 Диссертацияның практикалық маңызы бар және алынған нәтижелерді практикада қолдану мүмкіндігі жоғары:	Әдеби шолу үшін пайдаланылған дереккөздер жеткілікті. Шолу жеткілікті дәрежеде толық әрі терең жүргізілген.
		1) **ия;**	
		2) жоқ.	
		9.3 Практикалық ұсыныстар жаңа ма?	Практикалық ұсыныстар ішінара жаңа.
		1) толығымен жаңа;	
		2) ішінара жаңа (25-75% жаңа);	
		3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	
10.	Жазу және ресімдеу сапасы	Академиялық жазу сапасы:	Академиялық жазу сапасы жоғары, төменде шағын ғана ескертулер жазылған.
		1) **жоғары**;	
		2) орташа;	
		3) орташадан төмен;	
		4) төмен.	
11.	Диссертацияға ескертулер	Жұмысты зерттеу барысында келесі сұрақтар туындады: 1. (2.68) теңдеулер негізінде құрылған тор ортогональды деп тұжырымдалады. Алайда 2.8-суреттен бұл анық көрінбейді. Бұл тек визуалды бұрмалану ма, әлде тор дәл ортогональды ма? Торды итерациялық түрде құру кезінде ортогональдық сапасы қалай анықталады? Қолданылған әдіспен ортогональ торды әрқашан құру мүмкін бе және бұл әдістің қандай шектеулері бар? 2. Есептеу барысында кеуекті қабаты бар орталардың шекараларында жылдамдық мәндерінің күрт өсуі байқалады (1.13-сурет). Бұл әсерді түсіндіруді қажет: ол сандық, әлде физикалық әсер ме? Егер бұл физикалық әсер болса, онда торды ұсақтаған кезде не болатынын көрсету керек. 3. (1.18) үзіліс шарттарының шығу тегін түсіндіруді немесе тиісті әдебиетке сілтеме беруді сұраймын.	

		4. Бұл есепте «энергетикалық норма» дегеніміз не? Бұл мәтінде аталғанымен, оның анықтамасын таба алмадым. Сонымен қатар, мәтінді рәсімдеуге қатысты шағын ескертулерім бар: 1. Торды құрудың итерациялық үдерісі күрделі түрде баяндалған, ал оған қоса (2.27)–(2.32) формулаларда оқулықтардан белгілі қуалау әдісінің сипатталуы жазылған. Бұл бөлімді қысқартуға болушы еді. 2. Метрикалық тензор мүшелері (2.1) формулада алғаш рет қолданылған, бірақ, олардың анықтамасы 2.4 бөлімінде кейін қалған. Бұл жағдайда (2.1) теңдеудің орнына жай Лаплас операторын жазуға болушы еді, немесе 2.4 бөліміндегі анықтамаларды ертерек еңгізу керек еді.
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)	Докторанттың ғылыми мақалаларының деңгейі осы мамандық бойынша диссертацияға қойылатын талаптарға жеткілікті деп санаймын. Диссертацияда мазмұны өте күрделі болғанымен, өзара логикалық байланысқан тақырыптар мен әдістер кең ауқымда қамтылған. Олар дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер теориясын, сұйықтар математикалық моделдерін, сандық әдістер мен бағдарламалауды, сондай-ақ аса мұқият әрі тиянақты жұмысты талап етті. Диссертацияда ортогональ торларды сандық құру әдістері; әлсіз шешім үшін энергетикалық бағалаулар алу; жартылай дискретті схема үшін жинақтылық бағалауларын алу; теңдеулерді бастапқы айнымалыларда және «ағын функциясы – құйын» айнымалыларында қисықсызықты координаталар жүйесіне түрлендіру әдістері біріктірілген. Сонымен қатар, осы модельдерді сандық жүзеге асыру үшін айырымдық және ақырлы элементтер схемалары сипатталған. Осындай көлемді материалды қамтыған жұмысты сипаттауында жоғарыдағыдай шағын кемшіліктер кездесуі мүмкін. Жалпы жұмыс нәтижелері төрт басылымда жариаланған және алты халықаралық конференцияларда баяндама арқылы сынақтан өткен. Негізгі басылымдар тізімінде Scopus дерекқорының Q1 квартиліндегі бір басылым, Q2 -де бір басылым, екеуі ҚР БҒСБК (Қазақстан Республикасының Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті) ұсынған басылымдарда жарық көрді: 1. Nurlan Temirbekov, **Kerimakyn Ainur**, Mathematical and Computational Modeling of Catalytic Converter Using Navier–Stokes Equations in Curvilinear Coordinates,- Mathematics 2025, 13(8),1355; https://doi.org/10.3390/math13081355, Scopus quartile – Q1, Процентиль: ≈ 96%.

		2. Temirbekov N., Khakimzyanov G., **Kerimakyn A.** Application of the Curvilinear Coordinate Method for the Numerical Solution of the Navier–Stokes Equations in Domains with Complex Boundaries // Computation. – 2026. – Vol. 14. – No. 3. – Article 58. – DOI: 10.3390/computation14030058, Scopus quartile – Q2, Процентиль: ≈ 75%. 3. Temirbekov Nurlan M., **Kerimakyn Ainur**. Methods for Creating Orthogonal Curvilinear Grids in Media with Complex Geometry. Bulletin of the National Engi-neering Academy of the Republic of Kazakhstan, 2025, 3(97), 242–250. https://doi.org/10.3390/math13081355 4. **Kerimakyn A.**, Shekerbeva Sh., Kerimakyn C., Talpakova B. Construction of an Adaptive Grid in a Domain with Complex Geometry Based on the Equivalent Distribution Method. Bulletin of Abai Kazakh National Pedagogical University. Se-ries of Physical and Mathematical Sciences, 2025, 2(90), 72–80. https://doi.org/10.51889/2959-5894.2025.90.2.006
13.	Ресми рецензенттің шешімі (осы Үлгі ереженің 28-тармағына сәйкес)	Жоғарыда айтылған шағын ескертулер жұмыстың құндылығын еш төмендетпейді. Сондықтан Керімақын Айнұрдың - «Геометриясы күрделі облыстардағы есептеу гидродинамикасы есептерін бейімдегіш торлар әдісімен шешу» жұмысының нәтижесі және ғылыми жаңалығы бойынша диссертацияға қойылатын талаптарға сәйкес келеді, ал автор «8D05405 – Есептеу ғылымдары және статистика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне лайықты.

Ресми рецензент:

Физ.-мат. ғ. докторы, профессор,

ТОО «Astana IT University»

Жасанды интеллект және деректер ғылымы мектебі **Муканова Б.Г.**

Astana IT University
АДАМИ РЕСУРСТАРДЫ БАСҚАРУ ДЕПАРТАМЕНТІ