«8D05405 Есептеу ғылымдары және статистика»
мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне іздену үшін ұсынылған
«Геометриясы күрделі облыстардағы есептеу гидродинамикасы есептерін 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: 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.	Диссертациялық жұмыста зерттеу нәтижелері қолданбалы математика, гидродинамика және сандық модельдеу салалары үшін теориялық және практикалық маңызға ие. Диссертация мемлекет қаржыландыратын AP23490027 – «Күрделі аймақтардағы Навье-Стокс теңдеулерін сандық шешуге арналған қолданбалы бағдарламалар кешенін әзірлеу» (2024-2026) жобасы шеңберінде орындалды.
2.	Ғылым үшін маңыздылығы	Жұмыс ғылымға елеулі үлесін **қосады**/қоспайды, ал оның маңыздылығы **ашылған**/ашылмаған.	Жұмыста Навье–Стокс және Навье–Стокс–Бринкман теңдеулері үшін әлсіз қойылымдар қарастырылып, Соболев кеністіктерінде шешімнің орнықтылығы мен априорлық бағалары алынған. Сонымен қатар қисық сызықты ортогональ координаталарда сандық модельдеу әдістері зерттеліп, ақырлы айырымдық

			және ақырлы элементтер әдістері негізінде тиімді алгоритмдер ұсынылған. Алынған нәтижелер күрделі геометриялы облыстардағы ламинарлы ағындарды математикалық модельдеу теориясын дамыту тұрғысынан маңызды болып табылады.
3.	Өзі жазу принципі	Өзі жазу деңгейі: **1) жоғары;** 2) орташа; 3) төмен; 4) өзі жазбаған.	Бұл диссертациялық жұмыс толыққанды және дербес орындалған ғылыми зерттеу болып табылады. Жұмыста келтірілген барлық негізгі тұжырымдар мен тұжырымдар ізденушінің ғылыми кеңесшілерімен бірлесіп, ғылыми жетекшілердің тікелей қатысуымен алынған және жарияланған.
4.	Ішкі бірлік принципі	4.1 Диссертация өзектілігінің негіздемесі: **1) негізделген;** 2) ішінара негізделген; 3) негізделмеген.	Диссертацияның кіріспе бөлімінде зерттеу тақырыбының өзектілігі мен ғылыми маңыздылығы негізделген. Жұмыста күрделі геометриялы облыстардағы тұтқыр сығылмайтын сұйық ағысын математикалық модельдеу мәселелері қарастырылып, Навье–Стокс және Навье–Стокс–Бринкман теңдеулерінің әлсіз қойылымдары, олардың сандық шешу әдістері және қисық сызықты координаталардағы модельдеу ерекшеліктері зерттелген.
		4.2 Диссертация мазмұны диссертация тақырыбын айқындайды: **1) айқындайды;** 2) ішінара айқындайды; 3) айқындамайды.	Диссертациялық жұмыс ғылыми біліктілік еңбектерге қойылатын талаптарға сәйкес құрылымдалған және мазмұны толықтай зерттеу тақырыбына сай келеді. Жұмыста Навье–Стокс және Навье–Стокс–Бринкман

			теңдеулері үшін әлсіз қойылымдар қарастырылып, Соболев кеңістіктеріндегі шешімдердің қасиеттері зерттелген. Сонымен қатар қисық сызықты ортогональ координаталардағы сандық модельдеу, ақырлы айырымдық және ақырлы элементтер әдістері негізінде тиімді есептеу алгоритмдері ұсынылған. Алынған нәтижелер күрделі геометриялы облыстардағы ламинарлы ағындарды математикалық модельдеу есептерін зерттеуде маңызды ғылыми және қолданбалы мәнге ие.
		4.3. Мақсаты мен міндеттері диссертация тақырыбына сәйкес келеді: **1) сәйкес келеді;** 2) ішінара сәйкес келеді; 3) сәйкес келмейді.	Ізденуші зерттеудің мақсатын тақырыпқа сәйкес дұрыс анықтаған. Қойылған міндеттер мақсаттың мазмұнын толық ашуға және оған қол жеткізуге жеткілікті болып табылады.
		4.4. Диссертацияның барлық бөлімдері мен ережелері логикалық байланысқан: **1) толық байланысқан;** 2) ішінара байланысқан; 3) байланыс жоқ.	Диссертацияның барлық бөлімдері мен құрылымы логикалық толық байланысқан. Жұмыстың бөлімдері арасындағы өзара логикалық байланыс нақты көрсетілген.
		4.5 Автор ұсынған жаңа шешімдер (қағидаттар, әдістер) дәлелденіп, бұрыннан белгілі шешімдермен салыстырылып бағаланған: **1) сыни талдау бар;** 2) талдау ішінара жүргізілген; 3) талдау өз пікіріне емес, басқа авторлардың сілтемелеріне негізделген; 4) талдау жоқ.	Диссертациялық жұмыста автор Навье–Стокс және Навье–Стокс–Бринкман теңдеулерін зерттеуге қатысты белгілі теориялық және сандық нәтижелерге жан-жақты талдау жүргізген. Әсіресе әлсіз қойылымдар теориясы, Соболев кеңістіктері, энергетикалық әдіс, қисық сызықты координаталар әдісі, ақырлы

			айырымдық және ақырлы элементтер әдістерінің қолданылуы қарастырылған. Осы белгілі нәтижелер негізінде автор цилиндрлік координаталардан қисық сызықты ортогональ координаталар жүйесіне көшу әдісін қолданып, күрделі геометриялы облыстар үшін жаңа сандық алгоритмдер ұсынған. Сонымен қатар үшдеңгейлі ақырлы айырымдық схема мен итерациялық әдіс құрастырылып, олардың орнықтылығы мен жинақтылығы зерттелген. Алынған нәтижелердің эталондық есептермен және белгілі зерттеулермен салыстырмалы талдауы беріліп, ұсынылған модельдердің сенімділігі көрсетілген.
5.	Ғылыми жаңашылдық принципі	5.1 Ғылыми нәтижелер мен ережелер жаңа ма?	Диссертацияда келтірілген ғылыми нәтижелер мен тұжырымдар ғылыми жаңалығымен ерекшеленеді. Жұмыста Навье–Стокс және Навье–Стокс–Бринкман теңдеулері үшін әлсіз қойылымдар қарастырылып, қисық сызықты ортогональ координаталар жүйесінде күрделі геометриялы облыстарға арналған жаңа сандық тәсілдер ұсынылған. Сонымен қатар ақырлы айырымдық және ақырлы элементтер әдістері негізінде тиімді алгоритмдер құрастырылып, олардың орнықтылығы мен жинақтылығы зерттелген. Алынған нәтижелер автордың
		1) толығымен жаңа;	
		2) ішінара жаңа (25-75% жаңа);	
		3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	

			жеке ғылыми зерттеулерінің нәтижесі болып табылады және гидродинамика мен сандық модельдеу теориясын дамытуға бағытталған.
		5.2 Диссертацияның қорытындылары жаңа ма?	Иә, диссертацияда алынған қорытындылар ғылыми жаңалыққа ие. Кеуекті ортадағы ағыстар үшін Навье–Стокс–Бринкман теңдеулерінің әлсіз қойылымы зерттеліп, априорлық баға алынды. Қисықсызықты координаталарда Навье–Стокс теңдеулерін шешуге арналған жаңа сандық схема мен алгоритм ұсынылды. Әзірленген әдістер күрделі геометриялы облыстағы, соның ішінде каталитикалық нейтрализатордағы ламинарлы ағындарды модельдеуге қолданылды. FDM және FEM нәтижелерінің 92% сәйкестігі алынған нәтижелердің дұрыстығы мен сенімділігін растады.
		<u>1) толығымен жаңа;</u>	
		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?	Иә, негізделген. Ұсынылған математикалық модельдер мен сандық алгоритмдер теориялық және есептеу нәтижелерімен негізделген. Әзірленген әдістер күрделі геометриялы облыстардағы сұйық ағынын модельдеуге, соның ішінде каталитикалық нейтрализаторлар мен газ тазарту жүйелерін зерттеуге қолданылуы мүмкін. Техникалық шешімдердің тиімділігі FDM және FEM нәтижелерінің 92% сәйкестігімен расталған.
		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).	Диссертацияда алынған барлық тұжырымдар, нәтижелер мен қорытындылар математикалық тұрғыдан қатаң негізделіп дәлелденген.
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 жұмыста алынған негізгі нәтижелер толық дәлелденген. 7.2 Тривиалды емес. Өйткені нәтижелерді дәлелдеу барысында ізденуші зерттеу бағыты бойынша белгілі классикалық нәтижелермен қатар соңғы жылдары алынған басқа ғалымдардың (ізденушінің) жаңа нәтижелерін де ұтымды пайдаланған. 7.3 Қорғауға ұсынылған негізгі нәтижелер жаңа болып табылады. 7.4 Нәтижелерді пайдалану деңгейі кең. Диссертацияда алынған нәтижелер қолданбалы математика, гидродинамика, сандық модельдеу және инженерлік есептер салаларында қолданылуы мүмкін. Ұсынылған әдістер мен алгоритмдер күрделі геометриялы облыстардағы ламинарлы ағындарды, каталитикалық нейтрализаторлардағы процестерді және өнеркәсіптік газдарды тазарту жүйелерін модельдеуде пайдалануға мүмкіндік береді. 7.5 Алынған нәтижелер ғылыми мақалалар ретінде жарияланған.

		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:	Әдістеменің таңдалуы негізделген. Таңдалған әдістеме сапалы зерттеу жұмысын жүргізуге толық мүмкіндік берген.
	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:	Диссертациялық жұмыстың нәтижелері қазіргі заманғы математикалық және сандық әдістерді қолдану арқылы алынған. Зерттеу барысында әлсіз қойылымдар теориясы, Соболев кеңістіктері, энергетикалық әдіс, ақырлы айырымдық және ақырлы элементтер әдістері, сондай-ақ қисық сызықты ортогональ координаталар теориясы пайдаланылған. Сандық есептеулер Python 3.11 бағдарламалау тілінде Jupyter ортасында және FEniCS платформасында жүзеге асырылды. Алынған нәтижелер теориялық және сандық талдау әдістері арқылы негізделген.
		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):	Диссертациялық жұмыс теориялық және сандық сипатқа ие болғандықтан, алынған нәтижелер қатаң математикалық негіздеулер мен сандық есептеулер арқылы дәлелденген. Жұмыста әлсіз қойылымдар теориясы, Соболев кеңістіктері, энергетикалық әдіс, ақырлы айырымдық және ақырлы элементтер әдістері қолданылып, алынған қорытындылар теориялық талдау және сандық эксперименттер арқылы негізделген.
		1) ия;	
		2) жоқ.	
		8.4 Маңызды мәлімдемелер нақты және сенімді ғылыми әдебиеттерге сілтемелермен **расталған** / ішінара расталған / расталмаған.	Маңызды мәлімдемелер ізденушінің зерттеу бағыты бойынша ғылыми жариялымдарда жарияланған нақты және сенімді ғылыми әдебиеттерге сілтемелермен расталған.
		8.5 Пайдаланылған әдебиеттер тізімі әдеби шолуға жеткілікті/жеткіліксіз.	Жұмыста пайдаланылған әдебиеттер тізімі әдеби шолуға жеткілікті келтірілген.
9	Практикалық құндылық қағидаты	9.1 Диссертацияның теориялық маңызы:	Диссертацияда Навье–Стокс және Навье–Стокс–Бринкман теңдеулері үшін әлсіз қойылымдар зерттеліп, қисық сызықты ортогональ координаталардағы күрделі геометриялы облыстарға арналған жаңа сандық тәсілдер ұсынылған. Сонымен қатар ақырлы айырымдық және ақырлы элементтер әдістері негізінде тиімді алгоритмдер құрастырылып, олардың орнықтылығы мен жинақтылығы зерттелген. Бұл нәтижелер қолданбалы математика, гидродинамика және сандық модельдеу теориясының дамуына маңызды үлес қосады.
		1) бар;	
		2) жоқ.	

		9.2 Диссертацияның практикалық маңызы бар және алынған нәтижелерді практикада қолдану мүмкіндігі жоғары:	Диссертацияда ұсынылған математикалық модельдер мен сандық әдістер күрделі геометриялы облыстардағы тұтқыр сығылмайтын сұйық ағысын модельдеуде қолданылуы мүмкін. Сонымен қатар алынған нәтижелер гидродинамика, қолданбалы математика, инженерлік модельдеу және сандық есептеу салаларындағы әрі қарайғы ғылыми және қолданбалы зерттеулерге негіз бола алады..
		1) ия;	
		2) жоқ.	
		9.3 Практикалық ұсыныстар жаңа ма?	Практикалық ұсыныстар толығымен жаңа болып табылады. Жаңа нәтижелердің зерттеу бағыты бойынша есептерді шешу барысында қолдану мүмкіндігі бар.
		1) толығымен жаңа;	
		2) ішінара жаңа (25-75% жаңа);	
		3) жаңа емес (жаңасы 25%-дан кем).	
10.	Жазу және ресімдеу сапасы	Академиялық жазу сапасы:	Диссертациялық жұмыс зерттеу бағытында қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді және жоғары академиялық деңгейде жазылған.
		1) жоғары;	
		2) орташа;	
		3) орташадан төмен;	
		4) төмен.	
11.	Диссертацияға ескертулер	Диссертациялық жұмыс бойынша ескертулер жоқ.	
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)	Докторант мақалаларының ғылыми деңгейі жоғары. Автордың диссертация тақырыбы бойынша Scopus деректер қорында 2 мақала, ҚР Ғылым және Жоғары білім министрлігі ғылым және білім комитеті ұсынған журналдардан 2 мақала және Халықаралық конференцияның тезистер жинағында 7 жарияланым, жиынтығы11 еңбек жарық көрген. Атап айтқанда: 1. Темірбеков Н., Керімақын Айнұр, Қисық сызықты координаттардағы Навье–Стокс теңдеулерін қолдану арқылы каталитикалық түрлендіргішті математикалық және есептеуіш модельдеу, - Mathematics 2025, 13(8), 1355; https://doi.org/10.3390/math13081355 2. Темірбеков Н., Хакимзянов Г., Керімақын А. Күрделі шекаралары бар аймақтарда Навье–Стокс теңдеулерін сандық шешу үшін қисық сызықты координаттар әдісін қолдану // Computation. – 2026. – Т. 14. – № 3. – Мақала 58. – DOI: 10.3390/computation14030058	

		3. Темірбеков Н.М., және Керімақын, Айнұр. Күрделі геометриялы орталарда ортогональды қисық сызықты торларды құру әдістері. Қазақстан Республикасы Ұлттық инженерлік академиясының хабаршысы, 2025, 3(97), 242–250. 4. Керімақын А., Шекербаева Ш., Керімақын С., Талпақова Б. Күрделі геометриялық облыста эквивалентті тарату әдісіне негізделген адаптивті торды құру. Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің хабаршысы. Физика-математика ғылымдары сериясы, 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)	Керімақын Айнұрдың «Геометриясы күрделі облыстардағы есептеу гидродинамикасы есептерін бейімдегіш торлар әдісімен шешу» тақырыбындағы диссертациялық ғылыми жұмысы нәтижесі және ғылыми жаңалығы бойынша диссертацияға қойылатын барлық талаптарға сәйкес келеді және автор «8D05405 Есептеу ғылымдары және статистика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне лайықты.

Ресми рецензент:
Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті
Бағдарламалық инженерия кафедрасының
қауымдастырылған профессоры, PhD

Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі * Товарищество с ограниченной ответственностью «Международный инженерно-технологический университет» *
МАМАНДАР БӨЛІМІ
МИТУ
ОТДЕЛ КАДРОВ

Алтыбай А.