

## Краткая информация о проекте

Наименование	AP09058430 «Разработка численных методов решения уравнений Навье-Стокса, сочетающих фиктивные области и сопряженные уравнения» (0121PK00366)
Актуальность	Данный проект посвящен проведению сравнительного анализа известных вариантов метода фиктивных областей (МФО) для нелинейных уравнений Навье-Стокса вязкой несжимаемой жидкости. Наряду с классическими вариантами метода фиктивных областей основанный на продолжений по младшим и старшим коэффициентам развивается семейство методов фиктивных областей с использованием общего подхода HUM (Hilbert Uniqueness Method) разработанного Ж.-Л. Лионсом. В первой группе методов фиктивных областей возникают проблемы численного решения уравнений с сильно меняющимися коэффициентами и с плохо обусловленной матрицей. При использовании второй группы методов возникают проблемы с автоматизацией вычислительного процесса в области со сложной границей. В данном проекте будут построены новые итерационные методы решения уравнений с сильно меняющимися коэффициентами. Рассмотрены вопросы приведения задачи метода фиктивных областей к экстремальным, и применения метода сопряженных уравнений. В качестве финансирующей организации выступает известная в стране геологоразведательная компания ТОО «ЭКОСЕРВИС-С». Задействованные в проекте специалисты имеют достаточное количество научных результатов для достижения цели проекта. Они имеют опубликованные труды по фундаментальным и прикладным направлениям. В состав исследовательской группы будут включены только те ученые и специалисты, которые непосредственно занимаются решением заявленных задач.
Цель	Построение эффективного метода численного решения уравнений Навье-Стокса в областях со сложной геометрией. Разработка численного метода решения эллиптического уравнения с сильно меняющимися коэффициентами возникающий при использовании МФО для уравнений Навье-Стокса. Разработка МФО для уравнений Навье-Стокса в вариационной постановке с множителем Лагранжа определенный на фактической границе с использованием теории сопряженных уравнений.
Задачи	Основной задачей проекта является решения трудностей возникающих при численном решении уравнении Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Первая трудность связана с постановкой граничного условия для давления из-за отсутствия в физической постановке задачи. Вторая трудность это сложные криволинейные границы интегрируемой области. Для преодоления этих трудностей в данном проекте будут разработаны эффективные методы фиктивных областей для численного решения уравнении Навье-Стокса, главной идеей которых является переход от

	<p>решения задач в областях с криволинейной границей к решению задач или последовательности задач в областях, форма границ которых была бы более простой.</p>
<p>Ожидаемые и достигнутые результаты</p>	<p>Будет проведен сравнительный анализ двух семейств МФО для уравнений Навье-Стокса. Строго математический будет изучены вопросы аппроксимации, устойчивости и сходимости вспомогательной задачи МФО. На примере модельной задачи будет проведены численные расчеты в широком диапазоне коэффициентов уравнении и малого параметра МФО. Будет создан комплекс прикладных программ для численного решения системы уравнений Навье-Стокса методами фиктивных областей. Прикладная программа будет создана с применением объектно-ориентированного программирования и интерфейса нового поколения с пользователями. Таким образом, в результате выполнения проекта будут рассмотрены теоретические исследования МФО для уравнений Навье-Стокса на дифференциальном и разностном уровне, построены эффективные алгоритмы численной реализации, разработаны программные обеспечения с использованием современного искусства программирования, решения задач будут доведены до цифр и представлены в графическом виде. Результаты полученные в проекте являются важными, так как уравнения Навье-Стокса описывают физику многих явлений и применяются для решения научных вопросов и технологических задач индустриального развития в национальном и международном масштабе. Эти уравнения используются для моделирования прогноза погоды, загрязнения атмосферного воздуха, сложные течения в океане, потоков жидкости в трубе и задач обтекания крылового профиля. Уравнения Навье-Стокса используются при проектировании обтекаемой формы самолетов и автомобилей, анализе и изучении кровеносных сосудов и многих других процессов. В сочетании с уравнениями Максвелла, они могут быть использованы для моделирования и изучения в магнитной гидродинамике. Уравнения Навье-Стокса также представляют большой научный интерес в чисто математическом смысле, т.е. проблема существования и гладкости решения в трехмерном случае пока остается открытой.</p>
<p>Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Темирбеков Алмас Нурланович, PhD, ассоциированный профессор, Scopus h-index:5, Web of Science h-index:2, Web of Science ResearcherID: ECD-5970-2022, Scopus Author ID: <a href="https://orcid.org/56436563100">56436563100</a>, ORCID: 0000-0002-4157-2799</li> <li>2. Касенов Сырым Еркинович, PhD ассоциированный профессор, Scopus h-index: 5, Web of Science h-index: 2, Web of Science ResearcherID: S-2074-2019, <a href="https://orcid.org/0000-0002-0097-1873">https://orcid.org/0000-0002-0097-1873</a>, Scopus Author ID: 55964589700</li> <li>3. Темирбекова Лаура Нурлановна, PhD, Scopus h-index: 4, Web of Science h-index: 1, Web of Science ResearcherID: P-7049-2017, <a href="https://orcid.org/0000-0003-2456-9974">https://orcid.org/0000-0003-2456-9974</a>, Scopus Author ID: 55508043100</li> </ol>

	<p>4. Тамабай Динара Оразбекқызы, магистр, Scopus h-index: 1, Web of Science h-index: 1, <a href="https://orcid.org/0000-0001-8315-5849">https://orcid.org/0000-0001-8315-5849</a>, Web of Science ResearcherID: IRU-3078-2023, Scopus Author ID: 58192775000</p>
<p>Список публикаций со ссылками на них</p>	<p>1 Temirbekov A., Malgazhdarov Y., Tleulessova A., Temirbekova L. Fictitious domain method for the Navier-Stokes equations// Известия НАН РК, серия «физико-математическая». – 2021.-№3(337). – С.128-137. <a href="https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.55">https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.55</a> (КОКСОН МНВО РК).</p> <p>2 Kasenov S.E., Temirbekov A.N., Satybaev A. ZH., Temirbekova L.N. Application of the fictitious domain method for ordinary differential equations // Вестник КазНПУ им. Абая, серия «физико-математические науки». – 2021. №2(74). – С.5-12. <a href="https://doi.org/10.51889/2021-2.1728-7901.01">https://doi.org/10.51889/2021-2.1728-7901.01</a> (КОКСОН МНВО РК).</p> <p>3 Temirbekov L.N., Malgazhdarov E.A. Creation and evaluation of the structures grid in curvilinear areas// Вестник КазНУ им. аль-Фараби, серия «математика, механика, информатика». – 2021.-№3(111).–С.122-131. <a href="https://doi.org/10.26577/JMMCS.2021.v111.i3.10">https://doi.org/10.26577/JMMCS.2021.v111.i3.10</a> (КОКСОН МНВО РК).</p> <p>4 Temirbekov A., Kasenov S., Temirbekova L. Fictitious domain method for atmosphere boundary layer model. 5th International Conference of Mathematical Sciences (ICMS 2021) 23-27 June 2021, Maltepe University, Istanbul, Turkey. – 2021. – P.97.</p> <p>5 Темирбеков А. Н., Касенов С. Е. Численная реализация метода фиктивных областей для уравнения эллиптического типа// Вестник НИА РК. –2022.-№3(85). – С.168-181. <a href="https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.188">https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.188</a> (КОКСОН МНВО).</p> <p>6 Temirbekov A., Zhaksylykova Z., Malgazhdarov Y., Kasenov S. Application of the fictitious domain method for Navier-Stokes equations. Computers, Materials and Continua. –2022. - Vol.73, N.1.- P.2035–2055. <a href="https://doi.org/10.32604/cmc.2022.027830">https://doi.org/10.32604/cmc.2022.027830</a> (Scopus procentage – 78, SJR=0.525, Scopus quartile – Q1, Web of Science quartile - Q2, IF=3.1).</p> <p>7 Temirbekov A., Altybay A., Temirbekova L., Kasenov S. Development of parallel implementation for the Navier-Stokes equation in doubly connected areas using the fictitious domain method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. -Vol. 2, Issue4(116).-P.38–46. <a href="https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254261">https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254261</a> (Scopus procentage – 47, SJR= 0.283, Scopus quartile - Q3).</p> <p>8 Temirbekov A., Kasenov S., Temirbekova L. Development of a computational algorithm for the numerical solution of the Navier-Stokes equations by the fictitious domain method. 6th International Conference of Mathematical Sciences (ICMS 2022) 20-24 July 2022, Maltepe University, Istanbul, Turkey. – 2022. – P.60.</p> <p>9 Temirbekov A., Kasenov S., Temirbekova L. Fictitious domain</p>

	<p>method for atmosphere boundary layer model. AIP Conference Proceedings Volume 2483, Article number 060009. –2022. <a href="https://doi.org/10.1063/5.0115504">https://doi.org/10.1063/5.0115504</a> (Scopus procentile – 15, SJR= 0.164, Scopus quartile – Q4).</p> <p>10 Temirbekov A., Malgazhdarov Y., Kasenov S., Temirbekova L. Application of the fictitious domain method for Navier-Stokes equations in natural variables. Proceedings of the 8th international conference on control and optimization with industrial applications (COIA 2022) 24-26 August 2022, Baku, Azerbaijan . – 2022.-Vol. 2.-P.459-461.</p> <p>11 Temirbekov A.N., Temirbekova L.N., Zhumagulov B.T. Fictitious domain method with the idea of conjugate optimization for non-linear Navier-Stokes equations. Applied and Computational Mathematics. –2023.-Vol. 22, Issue 2.-P.172–188. <a href="https://doi.org/10.30546/1683-6154.22.2.2023.172">https://doi.org/10.30546/1683-6154.22.2.2023.172</a> (Scopus procentile – 98, SJR=1.191, Scopus quartile - Q1, Web of Science quartile – Q1, IF=10).</p> <p>12 Temirbekov A., Zhumagulov, B. Variational methods for constructing iterative algorithms. AIP Conference Proceedings Volume 2781, Article number 020060. -2023. <a href="https://doi.org/10.1063/5.0144819">https://doi.org/10.1063/5.0144819</a> (Scopus procentile – 15, SJR= 0.164, Scopus quartile – Q4).</p>
Информация о патентах	-