

РГП «Институт математики и математического моделирования» КН МОН РК



**НАИМЕНОВАНИЕ
ПРОЕКТА**
РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА

ГОДЫ ПРОЕКТА

**СУММА
ФИНАНСИРОВАНИЯ**

«Численное моделирование пространственных турбулентных сжимаемых течений с вдувом струй и твердых частиц»

д.ф.-м.н., профессор, Найманова Алтыншаш Жамаевна

2018 - 2020

30 млн. тенге:

2018 – 10 млн. тенге, 2019 – 10 млн. тенге, 2020 – 10 млн. тенге

РЕФЕРАТ (АБСТРАКТ) ПРОЕКТА

При высоких до- и сверхзвуковых скоростях важным вопросом является влияние пульсационных характеристик сжимаемости жидкости на закономерности течения. Состояние проблемы показывает, что в настоящее время влияние эффектов сжимаемости на физические процессы течений недостаточно изучено для их правильного учета в моделях турбулентности. Предлагаемые пути учета эффектов сжимаемости также являются неполными и противоречивыми в силу того, что они удовлетворительно согласуются с опытами для одних типов течений, тогда как их применение для других течений оказывается неудовлетворительным. Следовательно, актуальным является разработка моделей турбулентности с учетом сжимаемости для детального изучения ее влияния на физику течения. В предлагаемом проекте будет предложен способ учета эффектов сжимаемости и неравновесности турбулентности на примере двухпараметрической модели турбулентности и проведено численное моделирование течений с высокими до- и сверхзвуковыми скоростями с вдувом струи. Динамика частиц в высокоскоростном потоке мало изучена в виду чрезвычайной сложности ее моделирования, обусловленной, к примеру, волнами сжатия и расширения газов, существенно влияющих на дисперсию частиц, эффектами сжимаемости газа, действующими на частицы. В проекте будет разработана стохастическая модель разделенного течения фаз с учетом влияния сжимаемости газов на движение частиц (в рамках эйлерово-лагранжевых переменных). В данном проекте также будет разработана энергетически устойчивая конечно-разностная схема высокого порядка аппроксимации (ESWENO) для гиперболических систем. Ожидается, что модификация весовых функций будет обеспечивать гораздо лучшее разрешение вблизи сильных разрывов, чем обычные ее аналоги. Предложенные математические модели, алгоритмы и пакеты программ могут быть использованы для решения научных проблем, таких как моделирование сложных сжимаемых турбулентных течений, процессов горения и многофазных сред. Изученные закономерности физических процессов внесут новое понимание в теорию струй, слоев смешения. Они также могут быть надежными методами решения широкого класса практических задач.

ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Будет построена $k-\omega$ модель турбулентности с учетом эффекта сжимаемости и неравновесность. Полуэмпирические константы модели турбулентности будут определены из опытных данных. Будет изучено влияние толщины пограничного слоя и параметра нерасчетности на формирование ударно-волновой структуры, слоя смешения и образование вихрей для задачи перпендикулярного вдува струи водорода с нижней стенки в турбулентный сверхзвуковой воздушный поток.
- Будет осуществлена постановка задачи нестационарного турбулентного вдува струи совершенного газа в спутный поток в трехмерном канале с использованием метода LES. Для этого предварительно будут сформулированы детерминистические возмущения на входе для активного воздействия на струю. Будет изучена динамика потока и рост слоя смешения и выявлен соответствующий тип детерминированных возмущений (в целях интенсификации слоя смешения) при средних и высоких числах Маха.
- Для моделирования динамики частиц в высокоскоростном турбулентном слое смешения на основе эйлерово-лагранжева подхода будут разработан усовершенствованный метод разделенного течения фаз (ISSF) с учетом стохастического влияния турбулентности газа и его сжимаемости на движение частиц. Будет выполнено прямое численное моделирование (Direct Numerical Simulation, DNS) квазидвумерного течения многокомпонентного газа в слое смешения с впрыском твердых частиц и детально изучена динамика частиц в зависимости от их количества и зоны впрыска.
- Будет построена энергетически устойчивая схема высокого порядка аппроксимации (ESWENO) для гиперболической системы уравнений с разрывными решениями. Параметры весовых функций будут выбираться таким образом, чтобы улучшить диссипативные свойства WENO схемы и гарантировать высокую точность решений на разрывах. Будет разработан численный алгоритм решения уравнений Навье-Стокса в широком диапазоне чисел Маха.

ЦЕЛЬ ПРОЕКТА

Математическое моделирование турбулентных эффектов сжимаемости и неравновесности и изучение их влияния на закономерности высокоскоростных пространственных течений в канале; прямое численное моделирование динамики твердых частиц в сверхзвуковом слое смешения с учетом влияния сжимаемости газа на движение частиц; разработка энергетически устойчивой конечно-разностной схемы высокого порядка аппроксимации

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Моделирование эффектов сжимаемости и неравновесности турбулентности для высокоскоростных потоков и разработка на его основе $k-\omega$ модели турбулентности. Математическая формулировка и численное решение задачи нестационарного вдува круглой струи совершенного газа в спутный поток в канале методом моделирования крупных вихрей. Постановка детерминистических возмущений на входе струи с целью интенсификации слоя смешения. Прямое численное моделирование квазидвумерного течения многокомпонентного газа в слое смешения с впрыском твердых частиц на основе предлагаемой модели разделенного течения фаз (ISSF). Построение энергетически устойчивой конечно-разностной схемы высокого порядка аппроксимации (ESWENO) для гиперболических систем уравнений с кусочно-непрерывными начальными условиями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

сверхзвуковая струя, сжимаемая турбулентность, слой смешения, ударная волна, уравнения Навье-Стокса, схема высокого порядка, численное моделирование.

ЧЛЕНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ГРУППЫ

№	Фамилия И.О.	Должность	Researcher ID
1	Найманова А.Ж.	Рук. проекта	O-8698-2017
2	Бекетаева А.О	ГНС 1 ст.	N-4307-2014
3	Аширова Г.	МНС 1 ст.	
4	Задаулы А.Е	МНС 0,25 ст.	
5	Усенова Т.М.	МНС 0,25 ст.	

КОЛИЧЕСТВО ПУБЛИКАЦИЙ ПО ПРОЕКТУ

По результатам исследований с начала 2018 года опубликовано 9 научных статей, в том числе:

-  **6 статей** (Article) в международных рейтинговых журналах, входящих в БД **Web of Science** Clarivate Analytics и БД **Scopus** с импакт-фактором;
-  3 статьи в казахстанских журналах, рекомендованном ККСОН МОН РК.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ПРОЕКТУ

6 статей в международных рейтинговых журналах (входящих в БД Web of Science Clarivate Analytics и/или БД Scopus) с импакт-фактором:

- 1** Altyn Makasheva, Altynshash Naimanova The Study of the Mixing Layer Particles Distribution in Dependence on the Convective Mach Numbers // INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICS. –2018. –Volume 12. – P. 79-87 (Scopus, SJR 2019= 0.218, процентиль 61 в категории Computational Mechanics).
- 2** Asel Beketaeva, Altynshash Naimanova Flow structure of the transverse jet interaction with supersonic flow for moderate to high pressure ratios // INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICS. –2018. –Volume 12. – P. P. 88-95 (Scopus, SJR 2019= 0.218, процентиль 61 в категории Computational Mechanics).
- 3** Akerkeh Zadauly, Asel Beketaeva, Altynshash Naimanova, Numerical Simulation of the Spatial Turbulent Mixing Supersonic Forced Jets in Coflow // WSEAS Transactions on Fluid Mechanics, ISSN / E-ISSN: 1790-5087 / 2224-347X – 2019 - Volume 14, Art. 8 - pp. 70-78. (Scopus, SJR 2019= 0.258, процентиль 32 в категории Ocean Engineering)
- 4** Altyn Makasheva, Altynshash Naimanova Numerical simulation of particle dispersion in the developing supersonic mixing layer// WSEAS Transactions on Fluid Mechanics, ISSN / E-ISSN: 1790-5087 / 2224-347X – 2019 - Volume 14, Art. 8 - pp. 92-100. (Scopus, SJR 2019= 0.258, процентиль 32 в категории Ocean Engineering)
- 5** A. O. Beketaeva, P. Bruel, and A. Zh. Naimanova Detailed Comparative Analysis of Interaction of a Supersonic Flow with a Transverse Gas Jet at High Pressure Ratios// Technical Physics, ISSN 1063-7842 – 2019 -Vol. 64, No. 10 - pp. 1430–1440). . Web of Science (Web of Science IF2019=0.603, квартиль **Q4** в категории Physics, applied, Scopus SJR 2019=0.376, процентиль 25 в категории Physics and Astronomy (miscellaneous)).
- 6** A.P. Makasheva and A.Zh. Naimanova Numerical simulation of a multicomponent mixing layer with solid particles // Thermophysics and Aeromechanics – 2019 - Vol. 26, No. 4 - pp. 1–16.). (Web of Science IF 2019=0.423, квартиль **Q4** в категории Mechanics, Scopus SJR 2019=0.491, процентиль 56 в категории Aerospace Engineering).

**СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО
ПРОЕКТУ**

3 статьи в журналах, рекомендованных ККСОН МОН РК:

- 7** Ye. Moisseyeva, A. Naimanova Effect of boundary layer thickness At inlet on patterns of interaction Of supersonic flow with transverse injected jet // News of the National Academy of Sciences of the republic of Kazakhstan. –2017. – Volume 6. – № 316. –P.154 – 162
- 8** Макашева А.П., Найманова А.Ж. Численное моделирование исследования влияния газовой фазы на динамику распространения твердых частиц // Математический журнал. –2018. – Том 18. – №1.– С. 126-138.
- 9** Gulzana Ashirova, Asel Beketaeva, Altynshash Naimanova Numerical simulation of the supersonic airow with hydrogen jet injection at various Mach number // Kazakh Mathematical Journal. – 2020. – Vol. 20. - No 1. – P. 38-53. 1. – P. 84 – 94.

**ДАТА ОБНОВЛЕНИЯ
ИНФОРМАЦИИ**

22 июля 2020 года