

«УТВЕРЖДАЮ»

Член правления - Проректор по науке и
корпоративному развитию НАО «Казахский
национальный исследовательский
технический университет имени

К. И. Сатпаева»,
канд. техн. наук, профессор Кульдеев Е. И.



ОТЗЫВ

ведущей организации НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева»
на диссертационную работу Абдимуталиповой Зейнуры Каныбековны
на тему: «Численное моделирование струйных турбулентных течений»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.05 — механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы диссертации

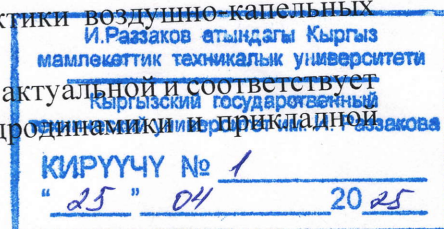
Современные научные исследования и инженерные разработки всё чаще опираются на методы компьютерного моделирования для изучения сложных физических процессов. Особое внимание уделяется турбулентным струйным течениям, которые широко применяются в различных технических системах — от охлаждающих установок и камер сгорания до вентиляционных и противопожарных систем.

Одной из ключевых задач вентиляции помещений, особенно в медицинских учреждениях, является обеспечение направленного, контролируемого и безопасного движения воздуха. Эффективное моделирование таких процессов требует использования математических моделей, основанных на системе уравнений Навье–Стокса, и соответствующих численных методов их решения. Однако, несмотря на достигнутый прогресс, поведение струйных течений в замкнутых пространствах — таких как помещения с механической вентиляцией — остаётся недостаточно изученным. Дополнительную сложность представляет моделирование переходных и турбулентных режимов, характерных для реальных условий эксплуатации вентиляционных систем. В этой связи особый интерес представляет моделирование взаимодействия различных типов струй (плавающих, пристенных, свободных) в типовых и специализированных архитектурных объёмах — например, в инфекционных палатах.

В представленной работе рассматривается численное моделирование турбулентных двумерных и трёхмерных струйных течений с использованием пакета OpenFOAM. Акцент сделан на моделировании струйных структур в различных конфигурациях помещений, оценке влияния граничных условий, расположения приточных и вытяжных отверстий, а также параметров турбулентности на формирование скоростных и температурных полей. Это позволяет повысить эффективность вентиляционных систем с учётом требований к тепловому комфорту и эпидемиологической безопасности.

Полученные результаты представляют научный и практический интерес для задач оптимизации воздухообмена и теплообмена в помещениях различного назначения. Особенно они актуальны для медицинских учреждений, где применение ламинарных воздушных потоков является важным элементом профилактики воздушно-капельных инфекций.

Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной и соответствует приоритетным направлениям развития вычислительной гидродинамики и прикладной



аэромеханики в интересах здравоохранения, архитектурной климатологии и промышленной вентиляции.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей диссертационной работы является развитие и совершенствование методов численного моделирования турбулентных струйных течений с использованием программного пакета OpenFOAM на примере моделирования воздушных потоков в вентилируемых помещениях, в частности — в моделях инфекционных больничных палат.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решались следующие задачи:

1. Выполнить аналитический обзор существующих методов численного моделирования турбулентных струйных течений, выявить их преимущества и ограничения.
2. Проверить адекватность используемой математической модели (в частности, модели турбулентности $k-\omega$ SST) путём численного моделирования пристенной турбулентной струи и сравнения с экспериментальными данными.
3. Смоделировать влияние числа Рейнольдса падающей турбулентной струи на теплоперенос при охлаждении нагревательной пластины.
4. Исследовать влияние интенсивности турбулентности входной струи на структуру воздушного потока в помещении.
5. Провести моделирование влияния отрицательных граничных условий по давлению на воздушный поток и теплообмен в модели инфекционной палаты.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

• **Результаты моделирования пристеночной струи и охлаждения нагревательной пластины.** В работе исследовано влияние числа Рейнольдса и параметров турбулентности на характеристики теплообмена и структуру струйного течения при ударе струи о нагретую поверхность.

• **Результаты моделирования струйного течения в модели инфекционной палаты больницы.** Проведён анализ влияния граничных условий давления, взаиморасположения вентиляционных отверстий и геометрии помещения на характеристики потока, подтверждённые численными расчетами с использованием OpenFOAM.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, обеспечивается:

- корректной постановкой задач моделирования на основе фундаментальных физических уравнений (уравнений Навье–Стокса, энергии, массопереноса и уравнений турбулентности);
- использованием обоснованных и апробированных численных методов решения уравнений;
- реализацией расчетов в свободно распространяемом программном комплексе OpenFOAM, широко применяемом в инженерной практике;
- сравнением полученных результатов с данными экспериментальных и численных исследований, опубликованных в научной литературе;
- достаточным числом проведенных численных экспериментов, охватывающих различные параметры потока и геометрические конфигурации помещений.

Научная новизна

1. Впервые получено подобие течений в геометрически подобных моделях больничных палат с различными масштабами ($3 \times 1 \times 1$ и $9 \times 3 \times 1$), что позволяет обобщать результаты численного моделирования для различных типоразмеров помещений.

2. Установлено влияние отрицательного выходного давления на структуру воздушного потока: показано, что при -8 Па и -16 Па профиль средней скорости возрастает на 6% и 24% соответственно по сравнению с нейтральным давлением.

3. Обоснована схема вентиляции инфекционной палаты, при которой достигается необходимый уровень скоростного комфорта (скорость воздуха не превышает 0.2 м/с в зоне размещения пациентов).

4. Выявлены граничные значения интенсивности турбулентности входной струи, при которых существенно изменяется точность модели $k-\omega$ SST.

Практическая значимость

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, могут быть использованы:

- при проектировании и оптимизации систем механической вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях различного назначения, включая медицинские учреждения;
- в разработке методик моделирования турбулентных течений в замкнутых и полужамкнутых объемах;
- в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистрантов и аспирантов по направлениям «Техническая термодинамика», «Математическое моделирование», «Прикладная механика» и другим смежным дисциплинам.

Отдельный вклад в практическую реализацию работы представляет внедрение разработанных моделей в деятельность инфекционного отделения Карасуйской территориальной больницы «Курманжан Датка».

Апробация результатов

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены и обсуждены на ряде международных и республиканских научных конференций, включая:

- **8th Computational Methods in Systems and Software (CoMeSySo 2024)**, Всетин, Чехия, октябрь 2024 г.
- Международная конференция «Вызовы науки», Алматы, Казахстан, 2023 г.
- Научно-практическая конференция «Развитие PhD докторантуры...», Бишкек, 2022 г.
- XXIV Международная конференция «Наука и образование: проблемы и перспективы», Алтайский край, Россия, 2022 г.
- Международные конференции ICMSIT, IT-пространства КГУСТА, а также ряд других научных мероприятий в Кыргызстане, России и Казахстане.

Участие в этих конференциях позволило автору получить ценные замечания и предложения, способствующие уточнению и усилению научных положений диссертации.

Публикации

Основные результаты исследования отражены в 11 научных публикациях, включая:

- 1 статью, опубликованную в издании, индексируемом в международной базе данных **Scopus**;
- 3 статьи — в изданиях, входящих в **Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)**;
- 1 публикацию в журнале с **импакт-фактором 0.173**;
- 2 авторских свидетельства;
- и ряд материалов конференций.

Публикационная активность подтверждает как оригинальность, так и научную и практическую значимость полученных результатов.

Замечания к диссертационной работе:

1. **Не до конца раскрыта методология валидации результатов.** Несмотря на сравнение с литературными и экспериментальными данными, следовало бы

более подробно описать процедуру верификации численной модели, особенно в контексте OpenFOAM.

2. **Ограниченное внимание чувствительности моделей к параметрам турбулентности.** В работе рассматриваются разные значения интенсивности турбулентности, но анализ чувствительности модели к выбору модели турбулентности (например, сравнение $k-\epsilon$ и $k-\omega$ SST) представлен фрагментарно.

3. **Недостаточно проанализированы ограничения используемой модели.** Не обсуждены возможные ошибки численного метода, ограничения по применимости расчетной сетки, а также влияния начальных и граничных условий.

4. **Формулировки научной новизны можно уточнить.** Некоторые пункты новизны скорее касаются прикладного применения, чем фундаментального вклада в развитие теории турбулентных течений. Следовало бы чётче разграничить прикладные и теоретические аспекты.

5. **Слабое отражение аспектов масштабируемости расчётов и производительности.** В условиях использования OpenFOAM полезно было бы оценить эффективность параллельных вычислений и особенности численного алгоритма при увеличении сложности геометрии.

Эти замечания **не снижают общей высокой оценки** работы и не ставят под сомнение её научный уровень. Напротив, их можно использовать как потенциальные направления для продолжения исследований в рамках докторской диссертации или прикладных проектов.

Таким образом, полученные в диссертации и публикации, результаты представляют большой интерес как с теоретической, так и с практической точек зрения. Диссертация Абдимуталиповой Зейнуры Каныбековны на тему: «Численное моделирование струйных турбулентных течений» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработано моделирование вентиляции больничных палат с помощью прикладных программ, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям Положения «О порядке присуждения ученых степеней» ВАК Кыргызской Республики, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор Абдимуталипова Зейнура Каныбековна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05–механика жидкости, газа и плазмы

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании научно-производственной лаборатории «Моделирование в энергетике» КазНУТУ имени К.И.Сатпаева «23» апреля 2025 г., протокол №1, с участием ведущих специалистов по профилю диссертации и научных сотрудников в количестве 9 человек, в том числе 1 доктора наук и 2 кандидата наук.

Председатель расширенного заседания
заведующий научно-производственной
лабораторией «Моделирование в энергетике», лауреат
госпремии РК в области науки и техники, д.т.н.,
профессор

Секретарь заседания

Подписи заверяем

