

**ОТЗЫВ**

официального оппонента **Александра Викторовича Проскурина** на  
диссертационную работу

**Полины Садуллоевны Гольшевой**  
**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЫХАНИЯ**  
**ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИИ»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

**Общая характеристика работы**

Диссертация П.С. Гольшевой содержит решение научной задачи математического моделирования течения воздуха в бронхиальном дереве человека. Работа имеет объем 105 страниц и состоит введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении дана характеристика работы, включающая ее актуальность, степень разработанности, цели и задачи, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, методы исследования, выносимые на защиту положения, обсуждение достоверности результатов, апробацию и личный вклад автора.

В первой главе обсуждаются существующие модели и методы построения бронхиального дерева, приводятся данные о строении трахеи и бронхиального дерева человека. Вводятся формулы для описания поперечного сечения бронхов в норме и при сужении, описывающие характерную звездообразную форму стенки, изучено падение давления в соответствующих трубах по сравнению с трубой круглого сечения. Предложен метод геометрического моделирования разветвлений бронхиального дерева при помощи торов и поверхностей, заданных аналитически, допускающий автоматизацию, и алгоритм сборки полного бронхиального дерева.

Во второй главе рассмотрено движение воздуха в бронхиальном дереве человека на основе модели несжимаемой вязкой жидкости. Обсуждается методика расчетов движения воздуха в отдельной бифуркации и полном бронхиальном дереве. Предложен метод поэтапного расчета течения воздуха в бронхиальном дереве с учетом его симметрии, показана его экономичность. Произведены расчеты стационарного течения в бронхиальном дереве в случае

вдоха и выдоха, рассмотрен случай частичного поражения легких. Результаты расчетов позволили сделать выводы о влиянии перехода к турбулентному движению, патологий в виде сужений и отключений отдельных ветвей бронхиального дерева на перепад давления в легких.

Третья глава посвящена численному моделированию теплообмена и влагообмена, динамике осаждения аэрозолей в бронхиальном дереве человека. Введены уравнения для движения капли в потоке газа, рассчитано осаждение капель на стенках разветвлений бронхиального дерева, исследованы зависимости глубины проникновения капель аэрозоля в бронхиальное дерево в зависимости от расхода воздуха и времени вдоха. Вводятся уравнения и граничные условия для описания теплообмена и влагообмена в легких, часть параметров, определяющих течение, определена при помощи эмпирических формул, приведенных в литературе. Проведены численные расчеты распределения температуры и влажности в бронхиальном дереве. Изучено дыхание человека нагретой гелий-кислородной смесью.

В заключении приведены выводы и основные результаты исследования.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе П.С. Голышевой в науку. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Автореферат диссертации имеет объем 18 страниц и соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней».

Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях: пять статей в журналах из списка ВАК (в том числе две статьи в журнале «Прикладная механика и техническая физика»), четыре статьи в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, четырнадцать публикаций тезисов докладов всероссийских и международных конференций. Таким образом, количество публикаций в рецензируемых изданиях намного превышает критерий, установленный «Положением о присуждении ученых степеней».

В диссертации соискатель ученой степени ссылается на авторов и источники заимствованных материалов и отдельных результатов.

В диссертации отмечен личный вклад автора.

**Актуальность работы** обусловлена широким распространением заболеваний дыхательных путей: пневмонии, туберкулеза, астмы, и, в последние несколько лет, COVID-19. Также тема работы интересна с точки

зрения влияния загрязнений воздуха на здоровье человека. При этих заболеваниях происходит нарушение работы легких человека и важно знать, как патологии влияют на процессы дыхания и газообмена. Легкие человека обладают очень сложной многомасштабной структурой, которая делает невозможным полное численное моделирование процесса дыхания, как за счет трудностей геометрического описания бронхиального дерева, так и за счет необходимых вычислительных ресурсов. С другой стороны, простые модели не дают хороших результатов. Поэтому разработка экономичных моделей и методик, хорошо описывающих процессы дыхания, и которые позволили бы достаточно легко организовать расчеты, является актуальным направлением работы.

**Обоснованность и достоверность** результатов диссертации обеспечена использованием хорошо себя зарекомендовавших и обоснованных методов, результатами верификации численной модели, сравнением, где это возможно, с данными других авторов. Изложенные в диссертации результаты были опробованы на всероссийских и международных конференциях.

**Новизна результатов.** Впервые предложены аналитические формулы для трехмерного описания бифуркаций бронхиального дерева, обеспечивающие плавность стенок, которые позволили построить полное трехмерное симметричное бронхиальное дерево. Предложен и обоснован алгоритм поэтапного расчета течения в полном бронхиальном дереве человека. Впервые произведены расчеты течения воздуха, осаждения капель аэрозоля, термической гелий-кислородной смеси во всем бронхиальном дереве человека. Результаты являются более полными и точными по сравнению с полученными ранее.

**Теоретическая и практическая значимость** состоит в том, что разработанные в диссертации методы возможно широко использовать для изучения осаждения аэрозолей и твердых частиц в легких. Результаты проведенных в диссертации расчетов могут быть применены для разработки практических методик приема лекарственных препаратов ингаляционным способом и соответствующих методов лечения.

#### **Замечания**

1. При расчете течения в бифуркации бронхиального дерева выходные ветви фиктивно удлиняются и на выходе задается профиль скорости, соответствующий установившемуся течению Пуазейля в трубе. Однако, на течение в выходной ветви должно оказывать влияние следующее разветвление. Производилось ли сравнение с более точными моделями?

2. В диссертации не указано, при помощи каких компьютерных программ производилось геометрическое моделирование и генерация сеток, производились расчеты течений несжимаемой жидкости, аэрозолей.
3. Заметное количество ошибок вроде пропущенных запятых, неудачных оборотов и так далее. Например, непонятна фраза «начинаются где-то после 16-го деления» на странице 15; есть ошибки на странице 22 в выражении «исключает повторяемости результатов» и на странице 26 во фразе «задняя стенка трахеи мышечную ткань». Присутствуют небрежности изложения: раздел 3.5 на странице 77 обрывается в середине предложения и выглядит незаконченным. В разделе 3.6 последнее предложение на странице 79 не связано с остальным текстом.

### **Заключение**

Указанные замечания и неточности не снижают ценности работы и не влияют на ее положительную оценку. Автор диссертации продемонстрировал высокую квалификацию путем проведения обширного исследования процессов дыхания человека. Диссертация П.С. Гольшевой «Математическое моделирование процессов дыхания человека в норме и при патологии» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а Полина Садуллоевна Гольшева заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

18 марта 2024 г.

Официальный оппонент кандидат  
физико-математических наук,  
доцент кафедры прикладной  
математики

Проскурин Александр Викторович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, Сибирский федеральный округ, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46, +7(3852)290868, k210@

Подпись А.В. Проскура  
Ученый секретарь Учен  
АлтГТУ к.филологичес

Головина Татьяна Анатольевна

Председателю  
диссертационного совета  
24.1.125.01 (Д 003035.02)  
академику В.М. Фомину

### ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОППОНЕНТА

Я, **Проскурин Александр Викторович**, даю свое согласие выступить в качестве оппонента по диссертации Гольшевой Полины Садудловны на тему: «Математическое моделирование процессов дыхания человека в норме и при патологии» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

О себе сообщаю:

Ученая степень, отрасли науки	к.ф.-м.н.
Научные специальности, по которым защищена диссертация	05.13.18- Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
Ученое звание	нет
Академическое звание	нет
Тел:	8 (3852) 29-08-68
E-mail:	k210@list.ru
Должность	доцент
Подразделение организации	кафедра прикладной математики
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
Ведомственная принадлежность орг.	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	656038, Россия, Алтайский край, Барнаул, проспект Ленина, 46
Web-сайт организации.	<a href="https://www.altstu.ru">https://www.altstu.ru</a>
Телефон организации.	8 (3852) 290-710
E-mail организации.	altgtu@list.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 66 научных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 работ):

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
1	Проскурин А.В.	Linear stability of flow in a 90° bend //Physics of Fluids. – 2022. – Т. 34. – №. 3.

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
2	Проскурин А.В., Сагалаков А.М.	A simple scenario of the laminar breakdown in liquid metal flows //Magnetohydrodynamics. – 2021. – Т. 57. – №. 2.
3	Проскурин А.В.	Mathematical modelling of unstable bent flow using the selective frequency damping method //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1809. – С. 012012.
4	Проскурин А.В.	Устойчивость напорного течения между коаксиальными цилиндрами в продольном магнитном поле //Прикладная механика и техническая физика. – 2020. – Т. 61. – №. 6. – С. 16-23.
5	Проскурин А.В., Сагалаков А.М.	Patterns of magnetohydrodynamic flow in the bent channel //Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Математика и физика». – 2020. – Т. 13. – №. 6. – С. 774-780.
6	Проскурин А.В., Сагалаков А.М.	Stability of magnetohydrodynamic flow around a circular cylinder //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – Т. 1382. – С. 012033.
7	Проскурин А.В., Сагалаков А.М.	The evolution of non-linear disturbances in magnetohydrodynamic flows //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – Т. 1268. – С. 012062.

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

22 января 2024

/ А.В. Проскурин /

знаю достоверно:  
А.А. Мерхортова