

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Цинкера Михаила Юрьевича  
**«Математическая модель для описания движения воздуха в воздухоносных путях и деформируемых легких человека в процессе дыхания»,**  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Цинкера М.Ю. посвящена решению актуальной задачи – разработке комплексной математической модели, позволяющей описывать процессы течения воздуха в воздухоносных путях и легких, рассматриваемых как деформируемая пористая среда в ходе дыхательного цикла человека. Как отмечается в автореферате Цинкера М.Ю. одной из серьезных угроз для здоровья населения большинства стран мира, в том числе – Российской Федерации, является загрязнение атмосферного воздуха, ведущее к ухудшению качества жизни человека. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения загрязненный атмосферный воздух является причиной возникновения неинфекционных заболеваний: сердечно-сосудистых, хронических болезней органов дыхания и злокачественных новообразований. Современные методы математического моделирования позволяют провести количественную оценку поступающих ингаляционным путем загрязненных веществ из атмосферного воздуха в дыхательную систему человека, с возможностью последующей оценки риска развития бронхолегочных патологий. Поэтому разработка математической модели, описывающей процесс дыхания в норме и при наличии патологии является сложной и актуальной задачей. Стоит отметить, что диссертационная работа Цинкера М.Ю. выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0003 «Математические модели и новые материалы для высокотехнологичной медицины»), что также подчеркивает актуальность исследуемой темы.

Автором диссертационной работы получены новые научные результаты: предложена математическая модель для исследования течения воздуха в дыхательной системе человека, состоящая из двух подмоделей (подмодель течения воздуха в воздухоносных путях и подмодель течения воздуха в легких, представленных упруго-деформируемой насыщенной пористой средой), связанных через граничные условия; получены разрешающие соотношения для решения нелинейной задачи течения воздуха в деформируемой пористой среде легких человека, учитывающие взаимодействие воздуха в легких и легочной ткани; разработан алгоритм и комплекс программ для решения нелинейной связанной задачи течения воздуха в деформируемой пористой среде легких с использованием пошаговой процедуры; построена трехмерная геометрия воздухоносных путей и легких человека на основе данных компьютерной томографии, предложен закон изменения формы легких в процессе дыхания, учитывающий грудное и диафрагмальное дыхание; с использованием численных расчетов выявлены особенности течения воздуха, содержащего пылевые частицы реального дисперсного состава и плотности, а также получены количественные оценки оседания частиц в воздухоносных путях человека;

получены параметры течения воздуха и деформирования легочной ткани в различные моменты дыхательного цикла.

На основании разработанной математической модели, описывающей нестационарное течение воздуха в воздухоносных путях и деформируемых легких человека, Цинкером М.Ю. предложен новый подход к исследованию влияния внешних факторов, в том числе вредных и опасных, на состояние здоровья человека, в частности дыхательной системы.

Описанные факты подтверждают актуальность и научную значимость работы.

Практическая значимость работы подтверждается разработкой и регистрацией ряда полезных программ для ЭВМ: № 2024667751 от 29.07.2024, № 2024682468 от 24.09.2024, № 2021610660 от 18.01.2021, а также базы данных № 2023624733 от 19.12.2023.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых международных и российских научных журналах, а также отражены в монографии «Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития».

По автореферату имеется ряд следующих замечаний:

- 1) В автореферате не указано сколько элементов насчитывала расчетная сетка для воздухоносных путей и легочных долей. Проводилась ли адаптация расчетной сетки?
- 2) На странице 14 (второй абзац) автор пишет, что «установлены зоны оседания частиц в воздухоносных путях» со ссылкой на Рисунок 5. Однако, на Рисунке 5 представлены поле скоростей, траектории движения частиц и график зависимости доли осаждаемых частиц от их диаметра и плотности без указания зоны осаждения частиц. Не ясно в какой именно области осаждаются частицы.
- 3) Из автореферата не ясно проводилась ли оценка адекватности разработанной математической модели, так как данные по расчету не представлены.

Представленные выше замечания не влияют на общее высокое качество работы. Содержание автореферата диссертации полностью соответствует паспорту заявленной специальности и Положению о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Автор диссертационной работы, Цинкер Михаил Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Кандидат технических наук,  
старший преподаватель Российского  
химико-технологического университета  
имени Д.И. Менделеева

  
Е.К. Мохова

29.01.2025

Адрес: Миусская пл., 9, Москва, 125047

Телефон: 8(929) 619-39-50

E-mail: mokhova.e.k@muct.ru

Подпись Е.К. Моховой

