

ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора физико-математических наук,
доцента Симакова Сергея Сергеевича
на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук Цинкера Михаила Юрьевича на тему:
«Математическая модель для описания движения воздуха в воздухоносных путях и
деформируемых легких человека»
по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ»**

Актуальность

По опубликованным данным Росстата рост заболеваемости органов дыхания в РФ составил с 41.5 тыс. на 100 тыс. человек населения до 46.9 тыс. на 100 тыс. человек населения с 2020 по 2022гг. Также наблюдается рост факторов риска для здорового населения в связи с ухудшением экологической обстановки. Особенно актуальна проблема наличия посторонних примесей во вдыхаемом воздухе для сотрудников промышленного производства. Все это говорит о высокой актуальности тематики работы М.Ю. Цинкера, которая посвящена математическому моделированию движения воздуха в легких человека и ассоциированному с ним транспорту примесей в виде сферических частиц, поскольку математическое моделирование позволяет анализировать различные сценарии протекания патологических процессов, оценивать риски, находить оптимальные пути лечения и разрабатывать профилактические меры по предотвращению и снижению заболеваемости населения.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы состоит в разработке концепции и алгоритма мультимодельного моделирования комплексной системы (легких), состоящей из нескольких подсистем с различными характерными физическими особенностями протекания процессов (проводящая и дыхательная зоны легких). В рамках разработанной методики для каждой из подмоделей предложено свое математическое описание, предложены граничные условия для объединения моделей, разработан алгоритм совместного проведения вычислительных экспериментов. Для предложенной постановки нелинейной задачи течения воздуха в деформируемой пористой среде, описывающей дыхательную зону легких, получены разрешающие соотношения.

Практическая значимость состоит в разработке программного комплекса, позволяющего проводить анализ осаждения сферических частиц в проводящей зоне легких при заданном распределении концентрации частиц в зависимости от их размеров, что подтверждается свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ и базы данных.

Работа имеет большие перспективы по дальнейшему развитию моделей в соответствии с современным уровнем в рассматриваемой области и по прикладному применению.

Научная новизна

Основная научная новизна данной работы связана с предложенной моделью течения газа в подвижной упруго-пористой среде, совмещению этой модели с трехмерной моделью течения газа в проводящей зоне легких и алгоритмом проведения совместных мультимодельных расчетов.

Краткая характеристика основного содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, пяти глав, заключения, пяти приложений и списка используемой литературы, содержащего 245 наименований. Полный объем диссертации составляет 206 страниц, включая 21 рисунок и 2 таблицы.

Во введении работы обсуждается её актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы цели и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературы, описывающей существующие подходы к описанию движения воздуха в дыхательной системе человека.

Во второй главе описана предлагаемая декомпозиция модели легких на две части: проводящую и дыхательную зоны. В этом разделе сформулированы математические модели, которые далее используются в работе.

Третья глава посвящена выводу разрешающих соотношений для задачи движения воздуха в деформируемой пористой среде, аппроксимирующей проводящую зону дыхательных путей человека.

Четвертая глава посвящена описанию разработанного соискателем алгоритма проведения численных экспериментов.

В пятой главе представлены результаты численных экспериментов, включающие поля давлений и смещений потока воздуха в упруго-пористой среде, а также линии тока в проводящей зоне легких. Основным результатом данного раздела можно считать полученную автором зависимость доли осевших сферических частиц в зависимости от диаметра частиц и их плотности в потоке.

В заключении представлены основные результаты работы и сделаны выводы.

В целом диссертация М.Ю. Цинкера является законченным исследованием, имеющим теоретическую и практическую значимость. Результаты диссертационной

работы опубликованы в профильных российских и международных журналах и неоднократно докладывались на научных семинарах и конференциях.

Замечания по диссертационной работе

1) Цель работы не совсем ясна. Если целью ставится анализ осаждения частиц, то тогда роль разработанной упруго-пористой модели становится невысокой, так как большинство частиц осаждаются в проводящей зоне. В предложенной постановке упруго-пористая модель в основном выполняет задачу аппроксимации граничных условий. Однако есть более простые и эффективные способы, в том числе упомянутые автором в обзоре. Если целью ставится детальное моделирование потоков воздуха во всей легочной системе, то тогда упруго-пористая модель должна учитывать высокопроницаемые включения, обусловленные старшими поколениями трахейно-бронхиального дерева, пронизывающими весь объем паренхимы и сегментарное анатомическое строение легких.

2) Почему в модель проводящей зоны включены именно пять поколений трахейно-бронхиального дерева?

3) Включение в модель движения воздуха в проводящей зоне модели турбулентности требует обоснования. В определенных режимах турбулентный режим в верхних дыхательных путях действительно может иметь место, однако для режима, рассмотренного в данной работе учет в модели турбулентности выглядит, как излишнее усложнение модели. Каковы числа Рейнольдса у рассмотренных в работе течений?

4) В работе подчеркивается, что модель дыхательной зоны является циклически упруго-деформированной. Неясно, какое это значение имеет в данной работе, поскольку рассматривается только один дыхательный цикл, что может быть недостаточно для установления квазистационарного периодического потока. Также не приведены данные о том, что полученные численные решения действительно являются периодическими.

5) В работе отсутствуют сведения о валидации численного алгоритма, оценке его точности и сходимости.

6) В работе отсутствует сравнение с широко известными данными из работ по физиологии дыхательной системы (например, характерные скорости воздуха в поколениях трахейно-бронхиального дерева) и с результатами других многочисленных работ, связанных с численным моделированием движения воздуха в проводящей зоне легких человека и осаждения в них примесей.

7) Защищаемые положения 4 и 5 на самом деле содержат в себе по два отдельных положения, которые нужно обсуждать по отдельности. Первая часть положения 4: Трехмерная геометрия проводящей зоны в данной работе создана на основе данных литературы, а не изображений компьютерной томографии. Геометрия дыхательной зоны

построена стандартными широко используемыми для данных задач средствами и алгоритмами (ITK-SNAP, Blender). Данный выбор полностью оправдан, однако такие работы являются техническим, не обладают новизной и не являются самостоятельным результатом. Защищаемое положение 5: Описание результатов численного моделирования не является результатом или защищаемым положением. В работе содержится недостаточно сведений, подтверждающих достоверность защищаемого положения 5 в целом. Это объясняется наличием замечаний 5) и 6) выше.

8) В работе отсутствует список сокращений. Наличие такого списка облегчило бы восприятие работы.

Заключение

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и требованиям п.9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Соискатель Михаил Юрьевич Цинкер заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой вычислительной физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ, Физтех)

_____ Симаков Сергей Сергеевич

20 января 2025г.

Контактные данные: тел.: +7(903)264-0354, e-mail: simakov.ss@mipt.ru

Против включения персональных данных, заключенных в отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации М.Ю. Цинкера и оформления аттестационного дела не возражаю.

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ:
АДМИНИСТРАТОР
АДМИНИСТРАЦИИ
С.А. КОРА

Сева

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

С.С.

С.С. Симаков

20 января 2025г.

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ