УТВЕРЖДАЮ

 Директор ИВМ РАН

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

акад. Тыртышников Е.Е.

 17 ноября 2022 года

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук

(ИВМ РАН)

Диссертация «Агентная модель динамики вирусных инфекций» прошла апробацию на заседании научного семинара «Вычислительная математика и приложения» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук.

В период подготовки диссертации с 2021 по настоящее время соискатель **ВЛАД** **Андрей Иванович** работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника.

В 2020 г. Влад А.И. с отличием окончил магистратуру Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по специальности 01.04.02. Прикладная математика и информатика.

В 2021 г. соискатель поступил в очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук по направлению подготовки 02.06.01. Компьютерные и информационные науки с присуждением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2022 г. федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук по дисциплинам «Иностранный язык (английский)», «История и философия науки» и по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук Санникова Татьяна Евгеньевна, основное место работы - федеральное государственного бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук.

По итогам обсуждения диссертации «Агентная модель динамики вирусных инфекций» принято ***следующее заключение***.

***Тема диссертации является актуальной*** для развития методов моделирования эпидемиологии вирусных инфекций. Математическое модели эпидемий респираторных вирусных инфекций применяются для прогнозирования динамики заболеваемости и оценки эффективности противоэпидемических мероприятий. Наиболее часто используются модели в форме системы дифференциальных уравнений, описывающие динамику численностей групп людей с одинаковыми характеристиками инфекции и иммунитета. Эти модели основаны, в частности, на двух предположениях: быстром перемешивании людей и идентичности свойств людей внутри каждой группы. Результаты наблюдений показывают, что оба предположения не выполняются в реальных условиях. Целью диссертационного исследования является разработка агентной модели эпидемии. Для этого в диссертации рассматриваются задачи построения синтетической популяции агентов, сети контактов между агентами в ходе которых может передаваться инфекция, разработки модели оценки риска развития инфекции в результате контакта. Также разрабатывается алгоритм работы агентной модели и реализующий алгоритм комплекс программ, поводится идентификация параметров по реальным данным. Разработанный алгоритм, модель синтетической популяции, модель сети контактов и оценки параметров использованы в модели динамики эпидемии КОВИД-19.

***Цели и задачи диссертации***:

Целью диссертации является построение, исследование и реализация в виде программных комплексов агентной модели динамики острых респираторных инфекций с учетом их этиологии в мегаполисе, расположенном в умеренном климате.

Задачи диссертации:

1. Разработка алгоритма создания синтетической популяции и построения сети контактов в ней.

2. Разработка модели передачи инфекции, учитывающей совокупность взаимодействующих вирусов и различных факторов, влияющих на их распространение.

3. Решение задачи идентификации параметров.

***Основные результаты диссертации***

Получены следующие результаты:

1. Разработан алгоритм создания синтетической популяции мегаполиса, состоящей из более 10 миллионов агентов, и построения реалистичных сетей контактов в моделируемых коллективах данной популяции.

2. Разработана новая модель передачи инфекции, учитывающая совокупность взаимодействующих вирусов и множества различных факторов, влияющих на риск их передачи, включая как внешние факторы среды, так и внутренние факторы, связанные с процессами, происходящими внутри организмов индивидов.

3. Решена задача идентификации параметров с помощью минимизации нормализованной средней абсолютной ошибки между полученной и наблюдаемой заболеваемостью для различных возрастных групп и вирусов со значениями параметров, выбираемыми из выборки латинского гиперкуба.

Все ***результаты диссертации получены лично соискателем*** при научном руководстве кандидата физико-математических наук Санниковой Татьяны Евгеньевны.

**Научная новизна работы** заключается в том что

1. Впервые разработана модель циркуляции в популяции семи взаимодействующих респираторных вирусов.
2. Разработана новая модель оценки риска развития инфекции в результате контакта с инфекционным агентом.
3. Предложен алгоритм построения синтетической популяции агентов, демографические и социальные характеристики которых аналогичны реальной популяции постоянных жителей г. Москвы.

**Практическая ценность** результатов диссертации заключается в том, что разработан программный комплекс, реализующий модель циркуляции сообщества респираторных вирусов. Программный комплекс зарегистрирован в фонде алгоритмов и программ, свидетельство № 2020615304, дата регистрации 20 мая 2020 г. На основе этого программного комплекса реализована модель распространения вируса КОВИД-19.

**Обоснованность и достоверность результатов и выводов.**

**Достоверность результатов**, полученных в диссертации, обоснована всесторонним тестированием предложенных методов и подходов в ходе численных экспериментов по исследованию чувствительности характеристик эпидемического процесса к вариации параметров модели. Оценки и границы допустимых значений параметров модели получены из опубликованных данных. Приводится список работ, посвященных иммунологии и эпидемиологии респираторных вирусов, моделям и методологии агентного моделирования.

**Обоснованность**выводов и рекомендаций подтверждена сопоставлением результатов моделирования с реальными данными по сезонной динамике заболеваемости ОРВИ в Москве, в том числе с учетом этиологии.

**Полнота изложения материалов диссертации в публикациях.**

По теме диссертации опубликована 1 работа которая индексируются в международной базе Scopus и журнал входит в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. Зарегистрирована одна программа для ЭВМ.

***Материалы диссертации опубликованы автором достаточно полно*** в следующих работах:

1. **[Индексируется базой данных Scopus]** Влад А. И., Санникова Т. Е., Романюха А. А. Моделирование распространения респираторных вирусных инфекций в городе: мультиагентный подход // Математическая биология и биоинформатика. – 2020. – т. 15, № 2. – с. 338–356. DOI: 10.17537/2020.15.338.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020615304 Российская Федерация. АрхиГраф.ЭпидПрогноз /С. В. Горшков, А. А. Романюха, Т.Е. Санникова, А. И. Влад ; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью "ТриниДата". – № 2020614395; заявл. 18.05.2020 ; опубл 20.05.2020. – 1 с.

***Личный вклад соискателя*** в работах с соавторами заключается в следующем:

[1] - разработка модели оценки риска инфицирования, разработка алгоритма создания синтетической популяции мегаполиса, демографическая структура которой формировалась из структуры домохозяйств по данным переписи населения 2010 г., создание программы реализующей агентную модель динамики вирусных инфекций, программа реализована на языке программирования Kotlin с использованием параллельных вычислений, исследование динамики базового репродуктивного числа R0, адаптация метода идентификации параметров модели по реальным данным, проведение вычислительных экспериментов.

[2] - разработка модели оценки риска инфицирования, разработка алгоритма создания синтетической популяции мегаполиса, адаптация метода идентификации параметров модели по реальным данным.

***Основные результаты работы докладывались на следующих международных и российских конференциях***:

1. 64-я Всероссийская научная конференция МФТИ, Москва, Россия, 29 ноября – 03 декабря 2021.
2. 13-я международная конференция Bioinformatics of Genome Regulation and Structure/Systems Biology (BGRS/SB-2022), Новосибирск, Россия, 04–08 июля 2022.

***Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, в частности, пунктам:***

* п. 2 – Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.
* п. 6 – Разработка систем компьютерного и имитационного моделирования, алгоритмов и методов имитационного моделирования на основе анализа математических моделей (технические науки).
* п. 9 – Постановка и проведение численных экспериментов, статистический анализ их результатов, в том числе с применением современных компьютерных технологий (технические науки).

Диссертация «Агентная модель динамики вирусных инфекций», представленная Владом Андреем Ивановичем, рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ в

Апробация диссертации проведена на заседании научного семинара «Вычислительная математика и приложения» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук.

Присутствовало на заседании 9 человек. Заключение принято голосованием участников заседания. Результаты голосования: «за» - 9 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол №1 от 17 ноября 2022 года

Секретарь семинара д.ф.-м.н проф. РАН Богатырев А.Б.

.

Руководитель семинара, академик РАН, д.ф.-м.н., директор ИВМ РАН

Секретарь семинара, д.ф.-м.н., проф. РАН, в.н.с. ИВМ РАН

Тыртышников Евгений Евгеньевич

Богатырёв Андрей Борисович