

Отзыв члена диссертационного совета
на диссертационную работу «Математическое и теоретико-игровое моделирование
распространения малярии при отсутствии и наличии вакцинации»

Ндиайе Серинь Моду,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Диссертация посвящена математическому моделированию эпидемиологических процессов, а именно, распространению заболеваний, передаваемых насекомыми. У этих заболеваний есть свои особенности распространения, которые автор учитывает в своей работе. Это делает предложенные в работе модели уникальными и актуальными. Они являются одним из инструментов борьбы с малярией, особенно, при анализе течения эпидемии и изучении влияния ключевых факторов. Малярия до сих пор активно обсуждается в литературе по здравоохранению и математическому моделированию. Исходя из приведенных в работе данных, эффективность вакцин против нее достаточно низкая. Особенно высокая заболеваемость сохраняется в некоторых районах Африки. В связи с этим, тема работы актуальная, результаты могут быть использованы на практике.

Диссертационное исследование Серинь Моду Ндиайе состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, объем – 155 страниц. Основной язык диссертации – русский, перевод на английский язык сделан достаточно корректно. Первая глава содержит две модели распространения малярии, одна не учитывает вакцинацию, другая – учитывает ее. Обе модели представлены системами дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями. Для обеих моделей проведен похожий анализ, включающий нахождение нескольких точек равновесия системы, изучение условий их устойчивости (доказаны соответствующие утверждения) и численное моделирование. Результаты численного моделирования представлены на графиках в виде кривых численностей субпопуляций при различных параметрах моделей. Дается интерпретация результатов. Во второй главе автор также предлагает две модели динамики субпопуляций при распространении малярии в двух популяциях (человеческой и насекомых) одновременно. Эти популяции связаны между собой, что отражено в правой части системы дифференциальных уравнений (2.1) и (2.7) для моделей без вакцинации и с вакцинацией соответственно. Анализ этих моделей подобен проделанному в первой главе. Третья глава содержит описание двух математических моделей, построенных по статистическим данным и предназначенных для прогнозирования заболеваемости малярией. Первая модель является модифицированной моделью SIR. Она упрощена в соответствии с несколькими предположениями для того, чтобы ее можно было использовать на практике. Основные уравнения, описывающие динамику популяции в рамках этой модели, записаны в системе (3.3). Вторая модель – балансовая модель эпидемии малярии на основе процентного прироста. Система уравнений, описывающих данную модель, представлена в конце раздела 3.3.1 на стр. 106. Обе модели предлагаются для прогнозирования заболеваемости и прогнозы строятся, основываясь на статистических данных по заболеваемости малярией в 2000-2021 гг. В четвертой главе

автор представляет модель Курно конкуренции фирм, развивающейся в динамике. В качестве переменной состояния выбрана цена, которая меняется во времени в зависимости от текущей цены и спроса. Автор находит равновесие по Нэшу в данной дифференциальной игре, а потом рассматривает различные варианты кооперации для случая трех фирм, предполагая, что они могут объединяться в коалиции различных размеров. Игроки, находясь в одной коалиции, действуют в ее интересах, а коалиции конкурируют между собой. Здесь же изучается вопрос устойчивости кооперации или коалиционной структуры, используя подход Нэша.

Степень обоснованности научных положений. Достоверность полученных научных результатов обусловлена строгим доказательством всех сформулированных математических утверждений. Результаты диссертационной работы Ндиайе Серинь Моду были доложены на российских и международных конференциях и семинарах Кафедры математической теории игр и статистических решений СПбГУ. Основные результаты работы опубликованы в четырех статьях в журналах из списка ВАК (по данным наукометрической базы РИНЦ на сегодняшний день), две статьи проиндексированы в Scopus.

Научная новизна диссертации Ндиайе Серинь Моду заключается в предложенных им моделях распространения малярии в популяции человека (Глава 1), а также одновременно в двух популяциях: человека и комара (Глава 2). В представленных моделях предлагается учитывать уровень вакцинации населения и изучено, как этот параметр влияет на течение эпидемии. Также в данной работе представлены две модифицированные модели заболеваемости малярией в человеческой популяции, которые могут быть использованы для прогнозирования. Параметры этих моделей выбираются с целью минимизации ошибки отклонений кривых заболеваемости от имеющихся статистических данных. Особенностью построенных моделей является возможность их использования при наличии ежегодных данных, тогда как большинство прогнозных моделей построено на основе ежедневных или еженедельных данных.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные автором результаты имеют теоретическую значимость в части построения моделей распространения инфекционных заболеваний, учитывающих специфические факторы передачи заболевания от насекомого человеку и обратно. Также теоретический интерес представляют математические модели динамики числа заболевших, параметры которых определяются по выборочным данным, а сами модели являются модификациями модели SIR и общей балансовой модели. Практическая значимость результатов заключается в возможности применения всех представленных в работе моделей на практике при анализе заболеваемости малярией и течения эпидемии. По всем моделям автором проведено численное моделирование. Автором показано, как на практике строить прогнозы заболеваемости малярией, используя модели, представленные в третьей главе.

Замечания, вопросы и комментарии к диссертационной работе. Работа имеет ясную структуру и понятное изложение материала. Результаты работы оформлены в виде утверждений, строго доказаны. Общее впечатление от работы – положительное. В части моделирования автором представлено много наглядного материала (рисунки и графики). У меня возникли следующие замечания к работе:

1. Рассматриваемые в главах 1 и 2 модели эпидемии не отражают динамику численностей популяций в реальном времени. (Иначе из-за естественного роста популяций не было бы стационарных точек, соответствующих отсутствию инфекции.) Следовало бы указать связь этих моделей с динамикой в реальном времени.
2. Вводя на стр. 25-26 и далее векторные функции Ляпунова, автор не приводит нужных определений и результатов теории устойчивости. Эти функции следовало бы определить как функции от состояния системы, а не времени, и отметить, что они задаются в неявном виде как решения соответствующих систем, приведенных в работе. Отсутствие указанных комментариев затрудняет понимание работы.

Указанные выше замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы. В целом, следует отметить, что данное диссертационное исследование является законченной квалификационной работой, которая содержит несколько новых математических моделей, описывающих процесс распространения малярии в обществе, а также экономическую модель конкуренции и кооперации фирм, производящих вакцину. В работе, помимо теоретических результатов, имеются практически ориентированные модели, прогнозирующие развитие эпидемии по имеющимся статистическим данным. Автор представил результаты исследования на международных и российских конференциях, опубликовал несколько статей в российских научных изданиях, рекомендованных Минобрнауки. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика.

Диссертационная работа «Математическое и теоретико-игровое моделирование распространения малярии при отсутствии и наличии вакцинации» Ндиайе Серинь Моду соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 №11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Ндиайе Серинь Моду заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Член диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры исследования операций факультета
вычислительной математики и кибернетики
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Васин

А.А. Васин
26.01.2024

