

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Беляева Александра Владимировича

«Математическое моделирование и анализ стохастической динамики дискретных популяций», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа Беляева Александра Владимировича посвящена исследованию стохастических феноменов в дискретных моделях популяционной динамики, включающее в себя исследование двумерной модели хищник-жертва, модели двух связанных популяций с миграцией, одномерной модели, задаваемой кусочно-гладким отображением. В работе с помощью техники функции стохастической чувствительности (ФСЧ) и доверительных областей развиты методы математического моделирования, позволяющие конструктивно исследовать широкий круг стохастических феноменов возможных популяционных моделей с дискретным временем. Тема исследований является актуальной, поскольку в настоящее время внимание ученых привлекает область научных исследований, связанная с моделированием и анализом популяционных систем. Основным интерес с математической точки зрения связан прежде всего с необходимостью описания моделей языком динамических систем. Главная задача заключается в описании бифуркаций и анализе возможных динамических режимов как регулярных, так и хаотических в случае присутствия случайных возмущений, которые являются неизбежным атрибутом функционирования любой живой системы.

В силу вышеизложенного, актуальность темы диссертационной работы Беляева А.В. не вызывает сомнений.

Краткое содержание диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и четырех приложений. Во введении описана актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, сформулированы основные положения и результаты, выносимые на защиту, представлены сведения о достоверности и апробации результатов диссертационного исследования.

Первая глава посвящена теоретическим основам вероятностного анализа стохастических систем с дискретным временем, описанию метода

матриц стохастической чувствительности и доверительных областей, которые широко используются для аппроксимации вероятностного распределения случайных состояний вокруг детерминированных аттракторов. Представлен разработанный автором алгоритм нахождения границ хаотического аттрактора с помощью теории критических линий, который позволяет построить доверительные области для хаотического аттрактора.

Вторая глава посвящена анализу возможных режимов детерминированной и стохастической модели хищник-жертва с дискретным временем в зависимости от параметров системы и внешнего случайного воздействия. Опираясь на технику функций стохастической чувствительности (ФСЧ), проведен анализ разброса случайных состояний вокруг регулярных, периодических, квазипериодических и хаотических аттракторов.

В третьей главе исследована пространственно структурированная метапопуляция, состоящая из двух связанных подсистем с локальной динамикой, которая моделируется дискретным отображением Рикера. В изолированных подсистемах могут наблюдаться различные режимы: равновесный, периодический и хаотический. В случае же взаимодействия между популяциями поведение системы может существенно меняться, например, равновесный режим трансформируется в периодический, а хаотический режим переходит в порядок и наоборот. Также исследовано влияние на систему случайных возмущений. Особенность и новизна исследований данной главы состоит в изучении стохастических феноменов в модели связанных популяционных подсистем.

Четвертая глава посвящена применению метода ФСЧ к аттракторам кусочно-гладкого одномерного отображения, описывающего динамику численности популяции. Проведен сравнительный анализ аддитивного и параметрического шумов на аттракторы системы. Впервые метод ФСЧ и техника доверительных областей были использованы для описания хаотического аттрактора стохастической модели популяционной динамики, описываемой кусочно-гладким отображением, при случайном воздействии как аддитивного, так и параметрического вида. Также с помощью метода ФСЧ и техники доверительных областей найдена критическая интенсивность шума, при достижении которой в системе будет наблюдаться вымирание популяции.

В пятой главе описана функциональность пяти комплексов программ, позволяющих проводить исследование в области математического моделирования и анализа стохастической динамики дискретных

популяционных моделей: двумерной модели хищник-жертва, модели двух связанных популяций с миграцией и одномерной кусочно-гладкой модели.

В заключении подведены итоги диссертационной работы и предложены возможные направления дальнейшего исследования.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем.

1. В проведенных комплексных исследованиях дискретных динамических моделей связанных популяций при изменении коэффициента связи впервые применен метод матриц стохастической чувствительности и доверительных областей для выявления индуцированных шумом переходов и установлена их связь с бифуркациями и особенностями фазовых портретов в детерминированных моделях. Разработан алгоритм нахождения границ хаотического аттрактора с помощью теории критических линий, который позволяет построить доверительные области для хаотического аттрактора.

2. Для модели двух связанных популяций, каждая из которых задается дискретным отображением Рикера, выявлены механизмы индуцированных шумом переходов, связанных с дихотомией бассейнов притяжения, отражающих короткие и длинные переходные процессы решений и фрактальную структуру этих бассейнов, таких, как временная стабилизация неустойчивого равновесия, разрушение противофазной и синфазной синхронизации, переключение между синфазным и противофазным режимом, переходы от порядка к хаосу и наоборот.

3. Для аппроксимации разброса случайных состояний вокруг квазипериодического (замкнутой инвариантной кривой) и хаотического аттракторов применен метод функции стохастической чувствительности и доверительных областей.

4. Впервые метод функции стохастической чувствительности и техника доверительных областей использованы для описания разброса случайных состояний вокруг хаотических аттракторов стохастической модели популяционной динамики, которая описывается кусочно-гладким отображением.

5. Разработаны численные методы и алгоритмы, реализованные в новых программных комплексах, позволяющие проводить исследования в области математического моделирования и анализа стохастической динамики дискретных популяционных моделей.

Обоснованность научных результатов подтверждается материалами публикаций, выполненных автором. По теме диссертации автором

опубликовано 7 работ в рецензируемых научных журналах и входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus. Зарегистрированы 4 программы для ЭВМ в Роспатенте.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в описании сложных стохастических феноменов в трех дискретных моделях популяционной динамики: 1) двумерная модель хищник-жертва; 2) модель двух связанных популяций с миграцией; 3) одномерная модель, задаваемая кусочно-гладким отображением; а также в разработке методов анализа этих феноменов с помощью аппарата функции стохастической чувствительности. Также теоретическая значимость работы состоит в следующем: найдены критерии вымирания популяции хищников в рассматриваемом варианте модели хищник-жертва, описаны границы хаотического аттрактора; для модели связанных популяций получены параметрические условия устойчивости равновесия, описаны параметрические зоны моно- и мультистабильности режимов, выявлены условия для возникновения индуцированных шумом временной стабилизации неустойчивого равновесия, разрушения синфазной и противофазной синхронизаций, переходов от порядка к хаосу и наоборот; для одномерной кусочно-гладкой модели определены зоны устойчивых равновесий и хаотических аттракторов, найдены параметрические границы хаотического аттрактора и критерии вымирания популяции в случае аддитивного и параметрического шума.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке методов и алгоритмов анализа моделей популяционных систем, позволяющих решать актуальные практические задачи выявления причин экологических сдвигов и катастрофических изменений в популяционных системах. Практическую ценность также представляют разработанные численные методы, реализованные в комплексах программ, которые позволяют проводить исследования в области математического моделирования и анализа стохастической динамики дискретных популяционных моделей.

Апробация работы. Все положения диссертационной работы докладывались и обсуждались автором на 13 всероссийских и международных конференциях, посвященных современным проблемам прикладной математики и математическому моделированию. Результаты, вынесенные на защиту, опубликованы в 7 статьях в рецензируемых журналах, входящих в международные базы цитирования, из них 3 статьи - в журналах первого

квартиля. Разработанные программные средства имеют 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Автореферат правильно отражает содержание диссертационной работы.

Достоверность проведенных исследований обеспечивается строгостью используемого математического аппарата, согласованностью результатов, полученных с помощью разработанных теоретических методов, с данными компьютерного моделирования. Достоверность и корректность результатов численного моделирования подтверждается успешным тестированием разработанных программных комплексов на модельных примерах и результатами численных экспериментов. Результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

Замечания по диссертационной работе

1. Описание программных комплексов, приведенное в гл. 5, носит формальный характер, нет описания структуры программ, в некоторых случаях отсутствуют ссылки на разделы диссертации, где изложены алгоритмы.
2. Пункт «Разработка метода отыскания функции стохастической чувствительности для замкнутой инвариантной кривой» раздела 5.1, скорее всего, относится к первой главе, так этот метод (алгоритм) в главе 5 не описан.
3. Определение функции стохастической чувствительности (ФСЧ) не приведено в главе 1 диссертации, что затрудняет понимание работы. В содержательной части работы понятие ФСЧ появляется на стр. 18 «Таким образом, функция стохастической чувствительности $m(x)$ кривой Γ в точке x имеет значение $m(x) = m_1$ », причем до стр. 18 функция $m(x)$ не определена.
4. В формулах (1.21), (1.23) и (1.24) для доверительных эллипсоидов должно стоять неравенство или следует указать, что эти уравнения описывают границу доверительной области.

Отмеченные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Общая оценка диссертационной работы. Диссертационная работа Беляева А.В. «Математическое моделирование и анализ стохастической динамики дискретных популяций» является самостоятельной и законченной научно-квалифицированной работой, в которой содержатся новые актуальные результаты исследования в области математического моделирования и анализа стохастической популяционной динамики.

Считаю, что диссертационная работа «Математическое моделирование и анализ стохастической динамики дискретных популяций» выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет п. 9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Беляев Александр Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор
профессор учебно-научного центра «Информационная безопасность»
Института радиоэлектроники и информационных технологий,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина».

Контактные данные: Тел.: +7 (343) 375-45-81, e-mail: g.a.timofeeva@urfu.ru

Адрес места работы: 620062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 32, ФГАОУ
ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина»

Тимофеева Галина Адольфовна

31.03.2025

Г. А. Тимофеева

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

