

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию Козика Игоря Александровича «Исследование и
применение связи дискретного и непрерывного времени при
моделировании траекторий гауссовских процессов с учетом высоких
выбросов», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.1.4.
Теория вероятностей и математическая статистика

Диссертационная работа Козика И.А. посвящена теории гауссовских случайных процессов и полей (**Главы 1-4**), а также практике применения этой теории к актуальной задаче синтеза необходимой и безопасной коррекции биологического механизма влияния реального внешнего гравитационного поля на эффективное поведение человека в космическом пространстве (**Глава 5**).

Для адекватного математического и цифрового моделирования биологического нейронного механизма центральной нервной системы (ЦНС) планирования и управления собственным поведением человека потребовало от диссертанта проведения необходимого для этого класса исследований по **стационарным гауссовским** процессам в дискретном времени.

Оценка содержания работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка цитируемой литературы. Полный объем диссертации составляет 98 страниц текста, 25 рисунков и 1 таблица. Список литературы содержит 28 наименований, среди которых четыре работы автора по теме диссертации. Все они опубликованы в рецензируемых журналах, индексируемых в международных базах **Scopus, WoS, RSCI**.

В **главе 1** изучены три вида одномерных решеток дискретного времени и доказана локальная лемма для асимптотики вероятности достижения высокого максимума траекторией **стационарного процесса** на каждой из трех решеток. Далее дано полное доказательство теоремы, аналогичной теореме Пикандса, для

асимптотики вероятности достижения высокого максимума траекторией стационарного процесса на всех трех типах решеток.

Во **второй главе** получен основной результат для асимптотики вероятности достижения высокого максимума траекторией **нестационарного процесса** на трех решетках в зависимости от отношения параметров степенного поведения дисперсии и функции корреляции.

По аналогии с первой главой в **третьей главе** вводятся определение поля и ограничения на его ковариационную функцию, а также приведены определения двумерного гауссовского однородного поля и условия на его функцию корреляции. Кроме этого приведены определения шести двумерных решеток, на которых будут рассматриваться вероятности. Далее в третьей главе формулируется и доказывается локальная лемма для асимптотики вероятности достижения высокого максимума траекторий двумерного однородного гауссовского поля на шести видах решеток для двух типов ковариационной функции и получены все результаты, необходимые для доказательства основной теоремы для двумерного гауссовского однородного поля. Приведена формулировка теоремы и полное ее доказательство, аналогичной теореме Пикандса из главы 1, для асимптотики вероятности достижения высокого максимума траекторией двумерного однородного гауссовского поля на всех типах решеток.

В **четвертой главе** содержится приложение результатов из первой и второй глав для дробного броуновского движения и задачи о **разорении** для дробного броуновского движения в дискретном времени. Приведено определение дробного броуновского движения, а также находятся необходимые константы для применения теоремы из второй главы. После этого находятся асимптотики вероятностей достижения высокого максимума траекторией дробного броуновского движения в зависимости от типа решетки и величины параметра Херста. Рассмотрена задача о разорении для дробного броуновского движения и проведен поиск соответствующих констант для применения теоремы из второй главы. Находится асимптотика искомой вероятности в общем виде для всех решеток. Результаты

главы имеют важное значение в актуарной математике финансовых экономических расчетов.

В пятой главе содержится приложение полученных в главах 1-4 результатов для стохастизации математической модели Ходжкина--Хаксли афферентного первичного нейрона с модификацией Сото-Александрова при учете аппроксимации гауссовского белого шума.

В разделе 5.1 представлен строгий вывод математической модели Ходжкина--Хаксли афферентного первичного нейрона с модификацией Сото--Александрова.

В разделе 5.2 приведен результат стохастизации модифицированной модели Ходжкина-Хаксли. Особенностью полученной модели является неустойчивый переход из области притяжения точечного аттрактора типа устойчивый фокус в область притяжения рабочего периодического аттрактора и обратный переход в область притяжения точечного аттрактора. При этом такие переходы могут неоднократно чередоваться, что является математической формализацией основного закона нейрофизиологии "Всё или ничего".

В разделе 5.3 продолжено исследование модифицированной модели Ходжкина-Хаксли при наличии случайного шума. Показано, что при добавлении определенного тока кратковременной стимуляции (например, гальванической стимуляции вестибулярного аппарата космонавта на орбите), случайный шум **небольшой амплитуды** не препятствует переходу системы из режима движения в окрестности малого устойчивого предельного цикла (режим "Ничего" в соответствии с основным законом нейрофизиологии "Всё или ничего") в режим движения вдоль большого устойчивого предельного цикла (режим "Всё"). В то же время, наличие **большого по амплитуде** случайного шума может приводить к серии паразитных переходов системы из одного режима в другой и обратно даже при кратковременной стимуляции. При отсутствии стимуляции и при большой величине шума такие серии переходов наблюдались при моделировании и на практике неоднократно. Делается **окончательный вывод** о возможности реализации управляемого перехода в эффективную рабочую область путем гальванической управляемой стимуляции малой амплитуды.

Актуальность темы работы связана с проблемой коррекции поведения человека в космосе, обеспечивая ему комфортное и эффективное функционирование на основе использования **цифровых двойников**. Аналоговые и цифровые искусственные системы предназначены дублировать необходимые для целей коррекции биологические механизмы центральной нервной системы (ЦНС) человека.

Степень **обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**, сформулированных в работе, достаточно высокая, и подтверждена корректным использованием методов математического и компьютерного моделирования, вычислительной математики, сравнением результатов численных расчетов с результатами экспериментов на клеточном уровне. Обоснованность и выводы высокой эффективности результатов работы подтверждены патентом на создание устройства автоматической коррекции установки зрения человека в условиях микрогравитации, полученным в 2013 году за номером RV2500375C1.

Научная новизна и достоверность работы. Все результаты, представленные в диссертационной работе, являются новыми, математически сформулированы получены самостоятельно, строго доказаны и обладают внутренним единством. **Автореферат** настоящей диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Достоверность математических выводов основывается на применении принципа максимума Понтрягина, теоремы Малкина об устойчивости при постоянно действующих возмущениях, теоремы Андронова-Леонтовича о жесткой потере устойчивости, качественной теории нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, теории Калмана наблюдаемости и управляемости динамических систем и др. Математическая интерпретация основного закона нейрофизиологии "Все или ничего". Оценка влияния гауссовского белого шума на возможность реализации управляемого перехода в математической модели афферентного первичного нейрона. Также работа прошла апробацию на трёх научных конференциях (включая международные) и двух аспирантских семинарах.

Теоретическая и практическая значимость работы. Диссертация носит теоретический и практический характер. Методы и результаты первых трех глав являются теоретическими, но имеют важные приложения в актуарной математике, описанные в четвертой главе. Результаты пятой главы имеют практическую ценность в рамках государственной космической программы. В частности, для понимания целесообразности проведения космических экспериментов по применению гальванической стимуляции вестибулярного аппарата космонавтов при выполнении работ по визуальному ручному управлению космическим аппаратом в режимах невесомости.

Имеются некоторые замечания по работе:

1. В работе недостаточно раскрыта прикладная сторона полученных автором математических результатов для дробного броуновского движения в актуарной математике, страховых и других финансовых процессах.
2. В пятой главе при компьютерном моделировании активности биологического механизма вестибулярного аппарата человека диссертант ограничился рассмотрением только афферентного первичного нейрона (АФН). Тогда как К.В. Тихоновой была показана необходимость рассмотрения в биологическом механизме еще дополнительно эфферентного первичного нейрона (ЭПН), который завершает обратную связь управляющего стимула с акцептором результата коррекции. Из этого следует необходимость рассматривать не только аналоговую автоматическую часть коррекции (гальваномеханику), но и когнитивную часть коррекции (цифрового двойника).
3. В диссертации имеются некоторые неточности и описки. Например, на стр.67 (строка 1067) написано «... мексиканским нейрофизиологом Э. Сото и профессором МГУ В. Александровым...» вместо В.В. Александровым; на стр.71 (строка 1148) пропущена лямбда с индексом 10; на стр.74 (строка 1212) «... существует...» вместо существуют; на стр.81 и 82 (строки 1353 и 1364) нечитаемые.

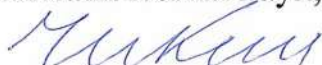
Заключение. Указанные замечания не умаляют высокой и заслуженной оценки диссертационного исследования. Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 1.1.4 – «Теория вероятностей и

математическая статистика» (по физико - математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Соискатель Козик Игорь Александрович безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.4 – «Теория вероятностей и математическая статистика».

Официальный оппонент:

Профессор Кафедры математики
федерального государственного
образовательного бюджетного
учреждения высшего образования
"Финансовый университет при
Правительстве Российской Федерации",
доктор физико-математических наук,
профессор



Чечкин Александр Витальевич

Контактные данные:

125167, Москва, Ленинградский пр-т, д. 49/2,
тел. +7(499)943-9855, e-mail: academy@fa.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.01.03 математическая физика;

01.01.07 вычислительная математика.



Подпись Чечкина А.В.

ЗАВЕРЯЮ
...ый секретарь Ученого совета
...ансового университета
Звягинцева В.В. Звягинцева
» мая 202 4 г.