

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Минушкиной Лилии Сергеевны

"Периодические траектории динамических систем, моделирующих
функционирование генных сетей",

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.2 –

«Дифференциальные уравнения и математическая физика»

Диссертационная работа Минушкиной Л.С. посвящена важной для теории обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) проблеме качественного анализа периодических фазовых траекторий динамических систем. Дополнительную актуальность исследованию придает тот факт, что рассматриваемые системы ОДУ являются моделями генных сетей. Таким образом, результаты работы представляют интерес с точки зрения математической биологии. Циклы в данном случае соответствуют осциллирующим режимам функционирования биологических систем. С другой стороны, рассматриваемая в диссертации тематика тесно связана с классическими задачами качественной теории дифференциальных уравнений, включая знаменитую 16-ю проблему Гильберта.

Основной целью проведенного автором диссертации исследования является анализ фазовых портретов динамических систем, моделирующих генные сети, выявление циклов и изучение вопросов их единственности и устойчивости. При этом доказываются утверждения и теоремы о свойствах рассматриваемых математических объектов.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, насчитывающего 60 наименований, включая 40 источников на русском и 20 – на английском языках. Суммарный объем работы составляет 72 страницы машинописного текста, включая 4 рисунка.

Во введении указаны цели и задачи исследования, обоснована его актуальность, приведены краткий исторический обзор и характеристика современного состояния исследований по тематике диссертации, представлена научная новизна работы, описаны применявшиеся в ходе работы методы и подходы, а также дано краткое изложение полученных результатов.

В первой главе исследуются траектории двух динамических систем малой (три и четыре) размерности с разрывными правыми частями. Доказаны вспомогательные утверждения о свойствах отображения Пуанкаре и теоремы о существовании и устойчивости циклов в инвариантных подобластях.

Во второй главе рассматривается шестимерная динамическая система с отрицательными и положительными регуляторными связями. Глава, по-видимому, является центральной, во всяком случае, 3 из 7 защищаемых положений относятся именно к ней. Для рассмотренной системы предложен и апробирован алгоритм построения инвариантных областей. Получены достаточные условия существования, единственности и устойчивости цикла.

В безразмерном случае найдены условия, при выполнении которых система не имеет циклов.

В третьей главе исследованы трехмерная и шестимерная модели генных сетей, в которых процессы синтеза и разложения веществ в биохимической реакции описаны нелинейными гладкими функциями в правых частях. В обоих случаях показана единственность стационарной точки и найдены условия, при которых существуют циклы. Проведено построение двумерных инвариантных поверхностей, образованных траекториями рассматриваемых систем.

В заключении сформулированы выводы по работе, приведены ее основные результаты и намечены возможные направления для дальнейших исследований.

Таким образом, в диссертации Л.С. Минушкиной получены новые имеющие существенную научную ценность результаты, касающиеся качественных свойств нелинейных систем ОДУ, моделирующих генные сети. Особенно хотелось бы выделить теоремы, которые обеспечивают существование, единственность и устойчивость циклов.

Характеризуя работу в целом, отметим, что тема диссертации, ее содержание и использованные методы полностью соответствуют Паспорту специальности 1.1.2 – «Дифференциальные уравнения и математическая физика», а именно, п. 4 Качественная теория дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений. Сформулированные в диссертации положения и выводы обоснованы, снабжены строгими доказательствами и дополнены сравнительным анализом с известными на сегодняшний день результатами в данной области. Диссертационная работа достаточно грамотно написана и с научной, и с языковой точек зрения, аккуратно оформлена. Автореферат соответствует содержанию диссертации и, в целом, верно отражает существо проведенных исследований и полученные результаты.

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 статьях, 8 из которых – в научных изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ. Положительной стороной диссертации является наличие публикаций по ней в авторитетных изданиях биологической направленности. Положения и выводы диссертации прошли надлежащую апробацию на международных и всероссийских научных конференциях и семинарах, хотя обращает на себя внимание то, что практически все они проходили в Новосибирске.

Несмотря на очевидные достоинства, работа не свободна от недостатков.

По диссертации мы выскажем следующие замечания:

1. В диссертации очень короткая библиография: всего 60 наименований, из которых около половины – работы научного руководителя и его учеников, включая публикации по диссертации. Обзор литературы практически отсутствует – нет даже специального раздела (параграфа).

Фактически, весь обзор – это две страницы во введении с 13-ю библиографическими ссылками. Как результат – в тексте диссертации нет ссылок на часть работ даже из приведенной библиографии. Например, мы не обнаружили ссылок на работу [4].

2. Работы авторов, не относящихся к школе В.П. Голубятникова, доведены только до 2018 года. Между тем, даже поверхностный анализ литературы показывает, что работы по изучению периодических траекторий динамических систем продолжают регулярно публиковаться. Так, в библиографию не попали релевантные работы московских коллег (см., например, [Glyzin S.D., Kolesov A.Y., Rozov N.K. A new approach to gene network modeling // Automatic Control and Computer Sciences. 2020. Т. 54. № 7. С. 655-684; Глызин С.Д., Колесов А.Ю., Розов Н.Х. Об одной математической модели репрессилатора // Алгебра и анализ. 2021. Т. 33, вып. 5. С. 80–124] и др.).

3. В диссертации плохо прослеживается внутренняя логика изложения. Не всегда понятно, как связаны последующие результаты с предыдущими и наоборот. Зачастую, работа более напоминает сборник отдельных статей, объединенных общими тематикой, нежели единое исследование. За "деревьями" (многочисленными леммами, утверждениями и теоремами) порой не видно "леса" (сути полученных результатов). Нет выводов по разделам, вторую главу вообще завершает формулировка теоремы.

4. В диссертации наблюдается странная чехарда с обозначениями искомых функций. В разделе 1.1 это x_i , в разделе 1.2 – y_i , в главе 3 – m_i , p_i , в главе 3 вновь x_i и y_i . Зачем это нужно – остается только гадать, однако ощущение того, что работе не хватает внутреннего единства, из-за этого усиливается.

5. В диссертации не рассматриваются вопросы интерпретации полученных результатов с точки зрения предметной области (биологии), хотя в постановках задач всячески подчеркивается, что это модели генных сетей. Очень показательно в этом плане выглядят возможные направления развития полученных результатов (см. заключение). Там нет ни слова о применении разработанных методов и подходов в математическом моделировании.

6. В работе полностью отсутствуют конкретные иллюстрирующие примеры.

7. Не совсем понятно, что помешало автору дополнить качественные исследования количественными оценками. Вид систем обыкновенных дифференциальных уравнений является вполне традиционным, выполнить иллюстрирующие расчеты было бы достаточно просто, однако этого не сделано. Почему?

8. В диссертации имеется всего 4 рисунка, и это не графики, а иллюстрации, причем выполненные довольно небрежно. Так, ни на одном из рисунков нет подписей к оси ординат, а на рис. 4 обе координатные оси не подписаны.

9. Выводы, сделанные по результатам исследований, носят ограниченный характер и в основном сводятся к перечислению полученных результатов. Весьма показательным в этом плане то, как сформулирована теоретическая значимость: *результаты можно распространить на системы большей размерности и применять при численном исследовании*. Есть еще упоминание об изучении природных генных сетей, но это уже, скорее, относится к практической значимости работы. Если дело, действительно, этим ограничивается, может возникнуть вопрос о (не)завершенности диссертационной работы.

10. В диссертации и автореферате имеется также некоторое количество опечаток и неудачных выражений. Например, на с. 11 автореферата указано: "Работа [8] содержала вычислительные эксперименты, *которые* были проведены соавторами, иллюстрирующие теоретические результаты, полученные автором диссертации" – предложение несогласованное; непонятно, почему *содержала* (в настоящее время не содержит?); допущена орфографическая ошибка. В сноске³ пропущен инициал "Э" (отчество редактора). На первой странице диссертации указан 2024 год, а на первой странице автореферата – 2025 год. Изложение в диссертации и автореферате иногда отличается некоторой стилистической небрежностью. Скажем, на с. 36 диссертации указано: "Для переменной m_2 имеем $L_2(p_1)=0$." В принципе, из контекста понятно, о чем речь, но выглядит странно.

Впрочем, справедливости ради, следует указать, что технических ошибок и опечаток не много.

Отдельного обсуждения заслуживает автореферат, текст которого выглядит недостаточно продуманным и содержит пробелы. Выскажем некоторые наиболее очевидные замечания:

а. Цель работы указана как "изучение динамических систем, моделирующих функционирование генных сетей", т.е. настолько неконкретно, что даже название диссертации несет в себе больше полезной информации (возможный вариант формулировки этого пункта предложен в настоящем отзыве на с. 1).

б. При обосновании научной новизны автор диссертации ссылается всего на две работы, одна из которых опубликована в 1978 г., а вторая – в 2000 г. Сомневаться в том, что по отношению к указанным публикациям полученные результаты являются новыми, не приходится, но как быть со статьями и монографиями, вышедшими за последние четверть века?

с. Непонятны постановки задач (10) и (11) и формулировки теорем 3.1 и 3.2: определяются ли функции L и Γ соотношениями (2) и (5)? Если нет, то что помешало их обозначить по-другому? Что из себя представляют коэффициенты k_i , l_i , p_i и q_i ? В диссертации указано, что это параметры линеаризации, однако в автореферате об этом ничего не сказано. Между тем, автореферат принято составлять так, чтобы суть полученных результатов была понятна специалистам без дополнительного обращения к основному

тексту диссертационной работы. Не говоря уже о том, что в главе 2 p_i – это не числовые коэффициенты, а искомые функции, что создает дополнительную путаницу.

Указанные выше замечания по диссертации и автореферату являются существенными, тем не менее, они не влияют на общую положительную оценку выполненных исследований и итогового текста диссертационной работы. На наш взгляд, она содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора в теорию дифференциальных уравнений. Работа имеет выраженный теоретический характер, и при этом она содержит некоторые рекомендации по использованию полученных научных результатов и выводов.

Полагаю, что рассматриваемое диссертационное исследование представляет собой завершённую научно-квалификационную работу по специальности 1.1.2 – «Дифференциальные уравнения и математическая физика», выполненную самостоятельно. Считаю, что диссертация "Периодические траектории динамических систем, моделирующих функционирование генных сетей" соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» № 842 от 24 сентября 2013 года (ред. от 16 октября 2024 г.), а ее автор, Минушкина Лилия Сергеевна, достойна присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Я, Казаков Александр Леонидович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Д-р физ.-мат. наук, специальность 01.01.02–
Дифференциальные уравнения,
профессор,
профессор РАН

Казаков Александр Леонидович
11.03.2025 г.

Почтовый адрес: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, а/я 292.
Рабочий телефон: (3952) 453033,
e-mail: kazakov@icc.ru
ФГБУН Институт динамики систем и теории управления
имени В.М.Матросова Сибирского отделения
Российской академии наук, Главный научный сотрудник,
Отделение 2 Прикладных проблем математической физики и теории поля



Подпись заверяю
Нач. отдела делопроизводства
и организационного обеспечения
ИДСТУ СО РАН

Г.Б. Кононенко
11.03.2025