

Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого  
Физико-механический институт  
Высшая школа прикладной математики и вычислительной физики

Реферат  
по дисциплине  
"Автоматизация научных исследований"

**Как автоматизировать написание  
научно-исследовательской работы**

Выполнил студент:  
Липс Екатерина Константиновна  
группа: 5040102/50201

Преподаватель:  
Новиков Федор Александрович

Санкт-Петербург  
2025

## Задание

На основании промптов, разработанных в ходе выполнения лабораторных работ в рамках дисциплины "Автоматизация научных исследований" необходимо написать полноценную научно-исследовательскую работу, проанализировать результаты и оценить возможность автоматизации процесса написания научных исследований.

## План работы

Для написания научно исследовательской работы был продуман пошаговый алгоритм работы для достижения наиболее качественного результата:

1. Генерация описания НИР (формулировка названия, выявление целей и задач работы, описание актуальности и первичных гипотез)
2. Генерация списка литературы по заданной теме
3. Генерация основной части работы с опорой на источники литературы
4. Генерация визуализации с помощью диаграмм UML
5. Генерация демо-стенда работы в формате лендинга
6. Генерация заключения
7. Генерация аннотации
8. Генерация перевода аннотации на английский язык
9. Генерация ключевых слов
10. Структурный анализ полученной НИР

В качестве используемой модели была выбрана GPT5.

## Генерация описания НИР

### Промпт

Ты научный сотрудник. Необходимо написать научно-исследовательскую работу в области нейробиологический по теме "Улучшение диффузной модели кальциевого обмена в дендритном шипике".

Написанная тобой научно-исследовательская работа должна помочь придумать, как в существующей системе диффузоров заменить простой сосуд моделируемый шаром и цилиндром на сложный, моделируемый эллипсами. Это диффузия в сложных сосудах (предположительно). Мат модель должна позволить точнее моделировать обмен кальция за счёт использования более сложной морфологии сценария. За референс можешь взять статью Spine-to-Dendrite Calcium Modeling Discloses Relevance for Precise Positioning of Ryanodine Receptor-Containing Spine Endoplasmic Reticulum (Markus Breit, Marcus Kessler, Martin Stepniewski, Andreas Vlachos Gillian Queisser)

Статья, написанная тобой должна состоять из введения, обзора литературы, описания существующих методов, их анализа, выводы и заключения.

Писать статью будем поэтапно, для начала напиши первую часть - введение:

- название НИР
- цели и задачи
- актуальность
- целевую аудиторию
- гипотезы / предполагаемый результат

Ответ пиши связным текстом в научном стиле с выделением смысловых абзацев. Не используй маркированные списки и другие элементы для структурирования текста.

## Результат генерации

**Название:** Улучшение диффузной модели кальциевого обмена в дендритном шипике на основе эллиптической морфологии геометрических компартментов.

Кальциевая сигнализация в дендритных шипиках является одним из ключевых механизмов, связывающих электрическую активность с биохимическими каскадами синаптической пластичности. В силу малых характерных размеров шипика и выраженной компартментализации его головки и шейки, кальциевые транзиенты обладают ярко выраженной пространственно-временной структурой, а их форма определяется не только суммарными потоками через мембранные каналы и насосы, но и геометрией домена диффузии, распределением буферов и наличием внутриклеточных депо. Поэтому реакционно-диффузионные модели  $\text{Ca}^2$  в шипике неизбежно опираются на морфологические предположения, которые в простейшем случае сводят шипик к сферической головке, соединённой с дендритом цилиндрической шейкой; именно такая геометрическая идеализация широко применяется в классических биофизических и математических описаниях динамики кальция и связанных вторичных мессенджеров.

Однако на уровне точной количественной реконструкции оказывается, что геометрические «детали» способны стать определяющим фактором режима обмена кальция между шипиком и дендритным стволом. В частности, пространственное расположение и морфологическая конфигурация эндоплазматического ретикулума в пределах шипика, а также присутствие каналов высвобождения кальция (например, рианодиновых рецепторов) могут качественно менять амплитуду, временные задержки и даже появление отсроченных компонентов сигнала при переносе  $\text{Ca}^2$  от шипика к дендриту. Это демонстрируется в трёхмерных моделях, где подчёркнута важность именно «точного позиционирования» ER и связанных с ним механизмов для силы и тайминга spine-to-dendrite коммуникации. *[Breit M. et al. Spine-to-dendrite calcium modeling discloses relevance for precise positioning of ryanodine receptor-containing spine endoplasmic reticulum //Scientific reports. – 2018. – T. 8. – №. 1. – C. 15624.*

В этой связи становится актуальной задача промежуточного уровня сложности: перейти от сверхупрощённой геометрии «шар + цилиндр» к более реалистичному, но всё ещё параметризуемому и вычислительно управляемому описанию формы шипика и его внутренних компартментов. Практически важным компромиссом здесь является аппроксимация сложных «сосудов/компартментов» набором эллипсов или эллипсоидов, способных воспроизводить асимметрию поперечных сечений, эксцентризитет головки и плавные изменения кривизны по длине шейки без необходимости перехода к полностью произвольной реконструкции.

Цель данной работы состоит в том, чтобы повысить точность математического описания кальциевой динамики в дендритном шипике за счёт замены упрощённой геометрии «шар + цилиндр» (головка и шейка шипика как идеализированные тела) на более реалистичное представление сложного «сосуда/компартмента», аппроксимируемого набором эллипсов или эллипсоидов. В рамках этой цели предполагается сформулировать диффузионно-реакционную постановку для сложной морфологии, определить корректные граничные условия для обмена  $\text{Ca}^2$  через мембранные и внутриклеточные депо, а также разработать вычислительную схему, позволяющую сравнимо по стоимости расчёта, но существенно точнее по геометрии воспроизводить пространственно-временные профили кальция и связанную с ними «спайн-к-дендриту» коммуникацию.

Задачи исследования логически вытекают из цели и включают формализацию геометрического перехода от сферо-цилиндрической модели к эллиптической (в том числе описание параметров, соответствующих наблюдаемым морфометрическим вариациям шейки и головки), анализ того, какие характеристики кальциевых транзиентов чувствительны к локальной кривизне и поперечному сечению, и построение процедуры валидации на основе сценариев, аналогичных тем, что используются в современных 3D-моделях кальциевой сигнализации в шипике. В качестве содержательного ориентира берётся линия работ, где показано, что тонкие морфологические детали и пространственное позиционирование внутриклеточных структур (например, ER со специфическими каналами высвобождения) способны переключать режимы «шипик – дендрит», влиять на амплитуду и задержки сигналов и даже порождать отсроченные волны/reverberation при определённых конфигурациях.

Актуальность исследования определяется тем, что кальциевая сигнализация в дендритных шипиках является пространственно-локальным и геометрически чувствительным процессом: даже при одинаковом «ходе»  $\text{Ca}^2$  через мембрану различия в форме шейки, эксцентризите головки и локальной площади мембранных участков меняют эффективные диффузионные сопротивления, объёмные соотношения и баланс между буферизацией, оттоком и внутриклеточным высвобождением. Упрощение шипика до шара и цилиндра удобно для аналитики и быстрых расчётов, однако оно скрывает вариативность реальных форм и тем самым ограничивает переносимость параметров модели между морфологически

разными шипиками и условиями пластичности. В работах, использующих 3D-генерацию геометрии и пространственное моделирование Ca<sup>2+</sup>-обмена, уже продемонстрировано, что точность позиционирования и морфологии внутриклеточных депо (в частности, ER с RyR) существенно влияет на силу и тайминг spine-to-dendrite сигналов, а значит геометрия является не второстепенной деталью, а частью механизма.

Целевая аудитория данной работы включает исследователей нейробиологии и нейрофизиологии с фокусом на синаптическую пластичность, специалистов по вычислительной нейронауке и математическому моделированию, а также разработчиков биофизических симуляторов, которым важны компромиссы между биологической реалистичностью, численной устойчивостью и вычислительной стоимостью. Дополнительно работа ориентирована на тех, кто разрабатывает или использует модели реакционно-диффузационных процессов в сложных доменах и заинтересован в параметризации морфологии на базе компактного набора геометрических примитивов, пригодных для систематических численных экспериментов.

Ключевая гипотеза исследования состоит в том, что переход к эллиптической аппроксимации компартментов шипика и связанных с ним внутриклеточных структур позволит уменьшить систематическую ошибку, возникающую из-за неверной оценки локальных объёмов, площадей мембран и диффузионных «узких мест», и тем самым улучшит предсказание как пиковых значений [Ca<sup>2+</sup>], так и временных характеристик (включая задержки и длительность хвоста транзиента) в области шейки и на границе со стволом дендрита. Предполагаемый результат заключается в получении математической и вычислительной постановки, где морфология задаётся набором параметров эллипсов/эллипсоидов, позволяющих, с одной стороны, приближать реальные формы без чрезмерного усложнения сетки, а с другой стороны, воспроизводить чувствительность кальциевых сценариев к геометрическим перестройкам, аналогичную выявленной в 3D-моделях влияния позиционирования и формы ER на spine-to-dendrite Ca<sup>2+</sup>-коммуникацию.

## Генерация списка литературы по заданной теме

### Промпт

На основании сформулированной темы сформируй точный и проверяемый список литературы, состоящий исключительно из реально существующих научных публикаций. Не выдумывай несуществующие источники. Обязательно проверяй все ссылки, которые выдаешь. Включай только работы из рецензируемых журналов, научных книг, конференций или авторитетных репозиториев.

Отбирай литературу по следующим критериям:

- строгая релевантность теме;
- фундаментальность и/или современность исследования;
- практическая ценность для написания статьи;
- разнообразие типов источников (обзоры, эксперименты, теория).
- индекс цитируемости

Ответ дай в виде списка источников, каждый из которых представлен в формате цитирования ГОСТ.

### Результат генерации

1. Breit M., Kessler M., Stepniewski M., Vlachos A., Queisser G. Spine-to-Dendrite Calcium Modeling Discloses Relevance for Precise Positioning of Ryanodine Receptor-Containing Spine Endoplasmic Reticulum // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8, No. 1. – Art. 15624. – DOI: 10.1038/s41598-018-33343-9.
2. Rosado J., Bui V.-D., Haas C. A., Beck J., Queisser G. et al. Calcium modeling of spine apparatus-containing human dendritic spines demonstrates an “all-or-nothing” communication switch between the spine head and dendrite // PLOS Computational Biology. – 2022. – Vol. 18, No. 4. – Art. e1010069. – DOI: 10.1371/journal.pcbi.1010069.
3. Bell M. K., Bartol T. M., Sejnowski T. J., Rangamani P. Dendritic spine geometry and spine apparatus organization govern the spatiotemporal dynamics of calcium // Journal of General Physiology. – 2019. – Vol. 151, No. 8. – P. 1017–1026. – DOI: 10.1085/jgp.201812261.

4. Friedhoff P., Brown A. M., Hellgren Kotaleski J., Mäki-Marttunen T. Stochastic reaction-diffusion modeling of calcium dynamics in 3D dendritic spines of Purkinje cells // *Biophysical Journal*. – 2021. – Vol. 120, No. 21. – P. 4763–4778. – DOI: 10.1016/j.bpj.2021.03.027.
5. Volfovsky N., Parnas H., Segal M., Korkotian E. Geometry of dendritic spines affects calcium dynamics in hippocampal neurons: theory and experiments // *Journal of Neurophysiology*. – 1999. – Vol. 82, No. 1. – P. 450–462. – DOI: 10.1152/jn.1999.82.1.450.
6. Holcman D., Schuss Z., Korkotian E. Calcium dynamics in dendritic spines and spine motility // *Biophysical Journal*. – 2004. – Vol. 87, No. 1. – P. 81–91. – DOI: 10.1529/biophysj.103.035972.
7. Holcman D., Korkotian E., Segal M. Calcium dynamics in dendritic spines, modeling and experiments // *Cell Calcium*. – 2005. – Vol. 37, No. 5. – P. 467–475. – DOI: 10.1016/j.ceca.2005.01.015.
8. Korkotian E., Holcman D., Segal M. Dynamic regulation of spine–dendrite coupling in cultured hippocampal neurons // *European Journal of Neuroscience*. – 2004. – Vol. 20, No. 10. – P. 2649–2663. – DOI: 10.1111/j.1460-9568.2004.03691.x.
9. Svoboda K., Tank D. W., Denk W. Direct measurement of coupling between dendritic spines and shafts // *Science*. – 1996. – Vol. 272, No. 5262. – P. 716–719. – DOI: 10.1126/science.272.5262.716.
10. Bloodgood B. L., Sabatini B. L. Neuronal activity regulates diffusion across the neck of dendritic spines // *Science*. – 2005. – Vol. 310, No. 5749. – P. 866–869. – DOI: 10.1126/science.1114816.
11. Sabatini B. L., Oertner T. G., Svoboda K. The life cycle of  $\text{Ca}(2+)$  ions in dendritic spines // *Neuron*. – 2002. – Vol. 33, No. 3. – P. 439–452. – DOI: 10.1016/S0896-6273(02)00573-1.
12. Holthoff K., Tsay D., Yuste R. Calcium dynamics of spines depend on their dendritic location // *Neuron*. – 2002. – Vol. 33, No. 3. – P. 425–437. – DOI: 10.1016/S0896-6273(02)00576-7.
13. Noguchi J., Matsuzaki M., Ellis-Davies G. C. R., Kasai H. Spine-neck geometry determines NMDA receptor-dependent  $\text{Ca}2+$  signaling in dendrites // *Neuron*. – 2005. – Vol. 46, No. 4. – P. 609–622. – DOI: 10.1016/j.neuron.2005.03.015.
14. Biess A., Korkotian E., Holcman D. Barriers to Diffusion in Dendrites and Estimation of Calcium Spread Following Synaptic Inputs // *PLOS Computational Biology*. – 2011. – Vol. 7, No. 10. – Art. e1002182. – DOI: 10.1371/journal.pcbi.1002182.
15. Basnayake K., Mazaud D., Bemelmans A., Rouach N., Korkotian E., Holcman D. Fast calcium transients in dendritic spines driven by extreme statistics // *PLOS Biology*. – 2019. – Vol. 17, No. 6. – Art. e2006202. – DOI: 10.1371/journal.pbio.2006202.
16. Schuss Z., Singer A., Holcman D. The narrow escape problem for diffusion in cellular microdomains // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2007. – Vol. 104, No. 41. – P. 16098–16103. – DOI: 10.1073/pnas.0706599104.
17. Holcman D., Schuss Z. Modeling calcium dynamics in dendritic spines // *SIAM Journal on Applied Mathematics*. – 2005. – Vol. 65, No. 3. – P. 1006–1026. – DOI: 10.1137/S003613990342894X.
18. Hepburn I., Chen W., Wils S., De Schutter E. STEPS: efficient simulation of stochastic reaction–diffusion models in realistic morphologies // *BMC Systems Biology*. – 2012. – Vol. 6. – Art. 36. – DOI: 10.1186/1752-0509-6-36.
19. Chen W., De Schutter E. Parallel STEPS: Large Scale Stochastic Spatial Reaction-Diffusion Simulation with High Performance Computers // *Frontiers in Neuroinformatics*. – 2017. – Vol. 11. – Art. 13. – DOI: 10.3389/fninf.2017.00013.
20. Hepburn I., Chen W., De Schutter E. Accurate reaction-diffusion operator splitting on tetrahedral meshes for parallel stochastic molecular simulations // *The Journal of Chemical Physics*. – 2016. – Vol. 145, No. 5. – Art. 054118. – DOI: 10.1063/1.4960034.
21. McDougal R. A., Hines M. L., Lytton W. W. Reaction-diffusion in the NEURON simulator // *Frontiers in Neuroinformatics*. – 2013. – Vol. 7. – Art. 28. – DOI: 10.3389/fninf.2013.00028.
22. Andrews S. S., Bray D. Stochastic simulation of chemical reactions with spatial resolution and single molecule detail // *Physical Biology*. – 2004. – Vol. 1, No. 3. – P. 137–151. – DOI: 10.1088/1478-3967/1/3/001.

23. Andrews S. S., Addy N. J., Brent R., Arkin A. P. Detailed Simulations of Cell Biology with Smoldyn 2.1 // PLOS Computational Biology. – 2010. – Vol. 6, No. 3. – Art. e1000705. – DOI: 10.1371/journal.pcbi.1000705.
24. Kerr R. A., Bartol T. M., Kaminsky B., Dittrich M., Chang J. C. J., Baden S., Sejnowski T. J., Stiles J. R. Fast Monte Carlo Simulation Methods for Biological Reaction-Diffusion Systems in Solution and on Surfaces // SIAM Journal on Scientific Computing. – 2008. – Vol. 30, No. 6. – P. 3126–3149. – DOI: 10.1137/070692017.
25. Gillespie D. T. Exact stochastic simulation of coupled chemical reactions // The Journal of Physical Chemistry. – 1977. – Vol. 81, No. 25. – P. 2340–2361. – DOI: 10.1021/j100540a008.

## Генерация основной части работы

### Промпт

Опираясь на информацию из подобранных источников напиши основной текст работы: существующие методы и их анализ и сравнение. При цитировании или опоре на текст какого-то из источников в квадратных скобках указывай номера соответствующих источников (номера бери согласно списку написанному в предыдущем твоем сообщении).

Ответ пиши связным текстом в научном стиле с выделением смысловых абзацев и разделов/подразделов. Не используй маркированные списки и другие элементы для структурирования текста.

### Результат генерации

#### **Существующие методы моделирования кальциевого обмена в дендритном шипике**

#### **Комpartmentные и квазизотропные модели: от «сферы и цилиндра» к эффективным параметрам обмена**

Исторически одним из наиболее распространённых подходов к описанию кальциевой динамики в дендритных шипиках являются редуцированные компартментные модели, в которых головка шипика аппроксимируется шаром, а шейка — цилиндром, а пространственная неоднородность учитывается через эффективные сопротивления, времена релаксации и коэффициенты связи «шипик–дендрит». Такая идеализация согласуется с интуитивной трактовкой шейки как диффузионного «бутылочного горлышка» и позволяет в явном виде выразить роль геометрических параметров в обмене  $\text{Ca}^2$  между головкой и дендритным стволом. Экспериментальные работы, напрямую измерявшие степень компартментализации и связь между головкой и стволом, показали, что геометрия шейки существенно влияет на перенос сигналов и диффузионный обмен, что легло в основу многих упрощённых описаний [9], а также позднее было подтверждено в контексте регулируемой проницаемости/диффузии через шейку [10] и геометрически обусловленной NMDA-зависимой кальциевой сигнализации [13]. Теоретико-экспериментальные исследования, связывающие форму шипика и наблюдаемые кальциевые транзиенты, закрепили тезис о том, что геометрия может выступать не вторичным фактором, а параметром управления режимом динамики [5], [12].

Сильной стороной таких моделей является их проверяемость и интерпретируемость: параметры можно сопоставлять с измеряемыми длиной и радиусом шейки, объёмом головки, площадью мембранны, а также с эффективными скоростями откачки и буферизации. Ограничение проявляется при попытке перейти к более сложной морфологии без потери строгости: аппроксимация «шар + цилиндр» автоматически предполагает осевую симметрию, постоянство поперечного сечения шейки, однородность кривизны и упрощённую метрику расстояний в домене диффузии. В результате такие схемы могут систематически ошибаться в оценке соотношений «объём–поверхность» и локального распределения диффузионных потоков, если реальная форма шипика отклоняется от цилиндрической, имеет эксцентриситет или меняющийся по длине радиус, что критично именно для задач, где морфология является центральным объектом улучшения.

#### **Детерминированные реакционно-диффузионные модели: PDE-постановки и геометрия как часть механизма**

Следующий уровень детализации задаётся реакционно-диффузионными моделями, в которых концентрация  $\text{Ca}^2$  описывается уравнениями диффузии с реакционными членами, отвечающими буферизации, связыванию, откачке насосами и притоку через каналы. В таких постановках геометрия задаёт сам

домен уравнений и граничные условия потоков на мембранах, а потому становится формальным элементом модели. Работы, специально посвящённые кальциевой динамике в шипике в рамках реакционно-диффузионного описания, показывают, что даже при относительно «простых» механизмах транспорта и буферизации пространственное распределение и время выхода на квазистационарный режим зависят от морфологии и от наличия диффузионных барьеров [6], [17]. Важным теоретическим инструментом для понимания роли узких горлышек и локальных «окон» обмена выступает теория узкого выхода (narrow escape), позволяющая количественно оценивать времена достижения/утечки к малым поглощающим/пропускающим участкам и связывать их с геометрическими характеристиками домена [16]. Перенос этих идей на нейрональные микродомены позволил формализовать «барьеры диффузии» и оценивать распространение кальция после синаптических входов с учётом геометрически обусловленных ограничений [14], а также анализировать быстрые транзиенты с позиции статистики редких событий в микрообъёмах, где геометрия определяет вероятности экстремальных всплесков и характерные времена [15].

Детерминированные PDE-модели в простых геометриях цепны тем, что допускают полуаналитические оценки и чувствительностный анализ: можно проследить, как изменение длины шейки или площади мембранны переносит систему между режимами «локального удержания» и «утечки в дендрит». Однако при переходе к целевому улучшению геометрии возникает практический изъян: аналитическая управляемость, характерная для сферы и цилиндра, резко теряется при усложнении формы. Это приводит к необходимости численных методов на сетках и, как следствие, к вопросу о том, насколько выигрыши точности от более реалистичной морфологии оправдывает рост вычислительных затрат и усложнение параметрической идентификации.

### **Модели с явной трёхмерной морфологией и внутриклеточными депо: роль ER и RyR**

Современная линия исследований показывает, что детализированная морфология важна не только «снаружи» (форма шипика), но и «внутри» — через присутствие и конфигурацию аппарата шипика и эндоплазматического ретикулума, которые добавляют пространственно локализованные источники/-стоки  $\text{Ca}^2$ . В моделировании, ориентированном на spine-to-dendrite коммуникацию, было продемонстрировано, что точное позиционирование ER, содержащего рианодиновые рецепторы, существенно влияет на характер передачи кальциевого сигнала от головки шипика к дендриту, формируя чувствительность результата к пространственным отношениям между мембранами и каналами [1]. Развитие этой тематики в моделях, включающих аппарат шипика, приводит к выявлению порогоподобных, «всё-или-ничего» режимов коммуникации между головкой и дендритом, где топология и геометрия внутренних компартментов выступают переключателем режимов [2]. Аналогичный вывод, но в более обобщённой форме, сформулирован в работах, связывающих геометрию шипика и организацию аппарата шипика с пространственно-временной структурой кальциевой динамики: не только объём и длина шейки, но и организация внутренних мембран может менять профиль транзиента [3].

Методологически такие модели демонстрируют ключевой для рассматриваемой НИР тезис: морфология является не «оформлением» уравнений, а параметром механизма, и потому улучшение геометрического описания имеет прямой путь к улучшению предсказаний. Одновременно они поднимают вопрос о масштабируемости: высокореалистичные 3D-постановки нередко требуют сложной сетки, малых шагов интегрирования и аккуратного задания потоков на множестве границ, что осложняет систематическое варьирование морфологии и проведение серий вычислительных экспериментов. Для задачи замены «шара и цилиндра» на эллиптические аппроксимации принципиально важно удержать именно эту систематичность: новая геометрия должна быть достаточно гибкой, чтобы отражать реалистичные вариации, и достаточно параметризуемой, чтобы оставаться удобной для анализа и идентификации.

### **Стохастические пространственные модели: когда дискретность молекул становится существенной**

В микрообъёмах дендритного шипика число молекул кальция и буферов в отдельные моменты времени может быть невелико, а значит, флуктуации становятся частью наблюдаемой динамики. Это мотивирует использование стохастических моделей, где реакции задаются вероятностно, а перенос реализуется либо как стохастическая реакционно-диффузия на сетке, либо как частицевые/агентные методы. Фундаментом для стохастического описания реакций выступает алгоритм Гиллеспи, дающий точную динамику для хорошо перемешанных систем [25], однако для пространственных задач требуется дополнение диффузией и взаимодействием с границами. Работы по стохастическому реакционно-диффузионному моделированию в трёхмерных шипиках показывают, что 3D-геометрия и стохастика совместно определяют распределения амплитуд и временные характеристики, а потому стохастический

подход может быть принципиально важен для корректного воспроизведения вариабельности и редких событий [4].

Для практики моделирования выделяются два доминирующих вычислительных класса. Первый класс — это сеточные методы стохастической реакционно-диффузии, где домен разбивается на тетраэдры/воксели, а реакции и диффузионные прыжки происходят как события; их эффективность и точность для реалистичных морфологий отражены в работах о STEPS как о платформе для таких симуляций [18], а также в развитии параллельных вариантов и алгоритмов расщепления операторов на тетраэдральных сетках, критичных для устойчивости и масштабируемости расчётов [19], [20]. Второй класс — частицевые методы, где молекулы моделируются как диффундирующие частицы с реакциями при столкновениях; такие подходы детально представлены для Smoldyn, ориентированного на пространственно разрешённые стохастические симуляции [22], [23], а также для быстрых Монте-Карло методов реакции-диффузии на поверхностях и в объёме, применимых к биологическим системам [24].

Сравнение стохастического и детерминированного подходов в контексте геометрического усложнения выявляет ключевой компромисс. Детерминированные PDE-модели лучше подходят для систематического анализа чувствительности и для идентификации параметров при фиксированной кинетике, тогда как стохастические модели естественнее описывают вариабельность и режимы, зависящие от малых чисел молекул. При переходе к эллиптическим «сосудам» оба класса методов выигрывают от параметрически задаваемой гладкой геометрии: сеточным методам проще генерировать качественную тетраэдризацию гладких поверхностей, а частицевым методам проще реализовать отражение/поглощение на аналитически заданной границе. В то же время стохастические методы более чувствительны к деталям граничных условий и локальных поверхностных реакций, поскольку именно на границах реализуются ключевые потоки через каналы и насосы; следовательно, усложнение геометрии повышает требования к точности реализации мембранных процессов.

## **Платформы и вычислительные реализации: воспроизводимость, масштабируемость и цена геометрии**

С прикладной точки зрения выбор метода часто определяется тем, какая программная среда поддерживает нужный тип геометрии, кинетики и масштаба расчётов. Для задач нейронного моделирования важным является наличие реакционно-диффузионного модуля в NEURON, позволяющего совмещать электрические модели с химическими процессами и тем самым обеспечивать связку «электрофизиология-биохимия» в единой постановке [21]. Для стохастической пространственной реакционно-диффузии в реалистичных морфологиях широко используется STEPS, где акцент сделан на корректности стохастической постановки на тетраэдральных сетках и на производительности, включая параллельные реализации и численно аккуратные схемы расщепления [18], [19], [20]. Для частицового уровня полезны Smoldyn-подобные подходы, обеспечивающие пространственную детализацию на уровне отдельных молекул и точную работу с реакциями и диффузией в сложных доменах [22], [23]. Наконец, методы быстрых Монте-Карло симуляций реакционно-диффузионных систем дают мост между строгой физической корректностью и вычислительной эффективностью, особенно когда важны поверхности и мембранные процессы [24].

Сравнительный анализ этих реализаций в свете задачи замены «шара и цилиндра» на эллиптическую морфологию показывает, что главным ограничением становится не только точность численного решения, но и управляемость геометрии как параметра. Если геометрия задаётся как произвольная реконструкция, то серия экспериментов по морфологическому сканированию затрудняется: меняется сетка, меняются численные ошибки и стоимость расчёта, усложняется сопоставимость. Напротив, если геометрия задаётся параметрически (например, эллипсами/эллипсоидами с контролируемым эксцентриситетом, плавными переходами по длине и заранее определяемыми площадями мембранных областей), то обеспечивается воспроизводимость и возможность строгого сравнения сценариев при фиксированной кинетике. Это соответствует общей логике работ, демонстрирующих чувствительность результатов к геометрии и позиционированию внутриклеточных структур: именно контролируемое варьирование морфологии необходимо, чтобы отделить «эффект формы» от «эффекта параметров реакции» [1], [2], [3].

## **Сравнение методов с точки зрения задачи морфологического усложнения**

В контексте перехода от модели «шар + цилиндр» к модели «эллипсы/эллипсоиды» ключевым является вопрос о том, какие аспекты кальциевой динамики должны быть воспроизведены точнее и какой метод даёт наилучшее соотношение точности, стоимости и интерпретируемости. Комpartmentные модели сильны тем, что дают прямую интерпретацию связи между морфологией и временем/силой

spine-to-dendrite обмена, согласующуюся с экспериментальными наблюдениями компартментализации и ролью шейки [9], [10], [13]. Их слабость — в геометрическом «слепом пятне»: они плохо различают формы, имеющие одинаковые объёмы, но разные эксцентрикитеты и распределения кривизны, а именно эти различия и ожидаются при замене цилиндрической шейки на эллиптическую или переменно-эллиптическую.

Детерминированные PDE-модели обеспечивают строгий учёт геометрии домена и позволяют систематически исследовать влияние диффузионных барьеров и узких выходов, опираясь как на специализированные постановки для шипиков, так и на общие результаты теории узкого выхода [6], [16], [17]. Варианты таких моделей особенно подходят для построения «моста» между эллиптической параметризацией и эффективными характеристиками обмена, поскольку позволяют вычислять, как изменяются времена релаксации и потоки на границах при изменении эксцентрикитета и площади мембранных участков. Их слабость проявляется при включении внутриклеточных депо и мембранных микродоменов: число границ и неоднородностей растёт, и стоимость точного 3D-решения может стать высокой, особенно если требуется серия прогонов для подбора параметров.

Стохастические пространственные модели выигрывают, когда интерес представляет вариабельность транзиентов, редкие события и режимы, где малое число молекул меняет наблюдаемую динамику, что подчёркивается как в исследованиях 3D-шипиков, так и в работах, анализирующих быстрые транзиенты и экстремальные статистические эффекты [4], [15]. Для морфологического улучшения они привлекательны тем, что эллиптическая граница может быть задана аналитически и тем самым снизить артефакты, возникающие при грубой полигональной аппроксимации поверхностей. Однако цена — повышенная вычислительная сложность и чувствительность к реализации граничных условий, особенно в присутствии мембранных каналов/насосов и внутренних мембран ER, где именно точность «геометрия + граница» определяет результат [1], [2].

Наконец, трёхмерные модели с явной организацией аппарата шипика и ER, включая RyR-зависимые механизмы, демонстрируют, что морфология и позиционирование внутренних структур могут формировать пороговые режимы и менять характер spine-to-dendrite коммуникации [1], [2], а также показывают, что организация аппарата шипика управляет пространственно-временной картиной  $\text{Ca}^2$  [3]. В этой группе подходов переход к эллиптической параметризации представляется особенно перспективным: она может сохранить ключевую геометрическую реалистичность, необходимую для воспроизведения эффектов позиционирования, и при этом обеспечить контролируемость и сопоставимость серии экспериментов, что трудно достижимо при использовании только произвольных реконструкций.

В итоге существующие методы образуют непрерывный спектр: от редуцированных моделей с высокой интерпретируемостью, но ограниченной геометрической выразительностью, до детализированных 3D-постановок, в которых геометрия доминирует над редукцией, но растёт вычислительная стоимость. Для задачи замены «шара и цилиндра» на «эллипсы/эллипсоиды» методологически наиболее оправданной выглядит стратегия, в которой эллиптическая геометрия встраивается в реакционно-диффузионную постановку как параметрически управляемый домен, а затем проверяется на сценариях, чувствительных к обмену через шейку и к позиционированию внутриклеточных депо, уже показавших свою принципиальную значимость для spine-to-dendrite динамики [1], [2], [14], [16]. Эта постановка оставляет открытым выбор детерминированного или стохастического решателя, но фиксирует ключевое требование: геометрия должна стать проверяемым и варьируемым фактором модели, а не разовой реконструкцией, что соответствует как классическим экспериментальным выводам о роли шейки [9], [10], [13], так и современным 3D-результатам о роли внутренней организации шипика [1], [2], [3].

# Генерация визуализации с помощью диаграмм UML

## Промпт

Придумай, что в данном исследовании можно отобразить с помощью UML диаграммы вариантов использования / классов для наглядности. Сгенерируй PlantUML-код для соответствующей диаграммы.

## Результат генерации

Листинг 1: Диаграмма вариантов использования

```
1 @startuml
2 title Система моделирования и анализа Ca2+ в дендритном шипике
3 top to bottom direction
4
5 actor "Исследователь" as R
6
7 rectangle "Модуль моделирования" {
8     usecase "Выбрать геометрию\n(простая/эллипсы)" as UC1
9     usecase "Задать параметры\n(потоки, буферы)" as UC2
10    usecase "Запустить симуляцию\n(диффузия+реакции)" as UC3
11    usecase "Сравнить результаты\nи метрики" as UC4
12    usecase "Экспортировать\nграфики/данные" as UC5
13 }
14
15 R --> UC1
16 R --> UC2
17 R --> UC3
18 R --> UC4
19 R --> UC5
20 @enduml
```



Рис. 1: Диаграмма вариантов использования системы

# Генерация демо-стенда работы в формате лендинга

## Промпт

Ты - senior front-end разработчик и UX/UI дизайнер. Сгенерируй ОДИН самодостаточный одностораничный сайт-лендинг (landing page) в виде резюме/портфолио данного проекта. Результат выдай как готовый валидный код (HTML + CSS + JS) без внешних зависимостей.

На лендинге с помощью разных блоков должна быть отражена основная информация, освещенная в работе:

- название работы
- цели и задачи
- актуальность
- несколько наиболее актуальных исследований по данной теме

- проблема и существующие методы ее решения
- анализ и сравнение

А также блок с формой обратной связи

UX-требования:

- Плавный скролл по якорям
- Подсветка активного пункта меню при скролле
- Тёмная/светлая тема (переключатель, сохранять в localStorage)
- Доступность: нормальные контрасты, focus-states, aria-labels для интерактива

Предпочтения по стилю:

- Минимализм + аккуратный “корпоративный” вид
- Чистая типографика, много воздуха, карточки с лёгкими тенями
- Акцент на call-to-action (Связаться / Скачать)
- Цвета: нейтральная база + один акцентный цвет (выбери сам), но не перегружай

Технические требования, обязательно:

- Использовать только HTML, CSS и JavaScript (без внешних библиотек и CDN).
- Весь код в одном HTML-файле (внутри <style> и <script>) ИЛИ (по желанию) чётко разделить комментариями секции CSS/JS.
- Код валиден, без синтаксических ошибок, корректно открывается в браузере.
- Адаптивная вёрстка: mobile-first, брейкпоинты 480/768/1024, меню превращается в бургер на мобильных.
- Кроссплатформенность: работает в современных браузерах (Chrome/Edge/Firefox/Safari), без экспериментальных API.
- Модульность и читаемость: BEM-подобные классы или аккуратная нейминговая схема, CSS-переменные, функции JS небольшие и понятные, комментарии по делу.
- Никаких изображений, требующих загрузки извне: при необходимости используй простые SVG-иконки inline или CSS-иконки.
- Не использовать тяжёлые эффекты: только лёгкие transitions/animations.

Вывод:

- Верни ТОЛЬКО код (одним блоком).
- В начале кода добавь короткий HTML-комментарий с описанием как запустить (просто открыть файл).

## Результат генерации

Результат генерации расположен в приложенном файле **demo-project.html**.

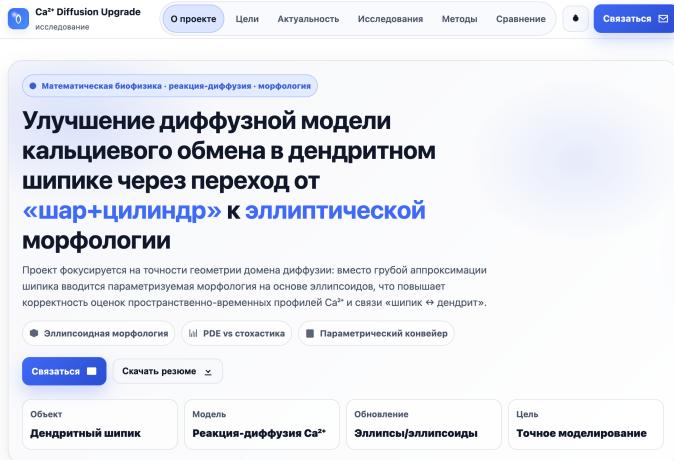


Рис. 2: Демонстрационный стенд проекта

## Генерация заключения

### Промпт

Напиши заключение к данной научной работе. Заключение должно включать все важные моменты, освещенные в работе. В том числе необходимо добавить упоминание разработанного демо-стенда с краткой информацией по данной работе.

Ответ пиши связным текстом в научном стиле с выделением смысловых абзацев. Не используй маркированные списки и другие элементы для структурирования текста.

### Результат генерации

В рамках выполненной научно-исследовательской работы была рассмотрена задача повышения точности моделирования кальциевого обмена в дендритном шипике за счёт улучшения геометрического описания домена диффузии. Показано, что традиционная идеализация морфологии шипика в виде «шар + цилиндр», хотя и удобна для интерпретации и быстрого расчёта, принципиально ограничивает воспроизводимость пространственно-временных профилей Ca<sup>2+</sup> в тех режимах, где результат чувствителен к локальной кривизне, асимметрии поперечного сечения, отношениям «объём–поверхность» и диффузионным «узким местам» шейки. В этой связи ключевым итогом работы стало обоснование необходимости перехода к более реалистичной, но при этом параметризируемой морфологии, позволяющей контролировать варьировать форму и строго сравнивать сценарии при фиксированной кинетике и условиях стимуляции.

В ходе обзора литературы и анализа существующих подходов были систематизированы классы моделей, применяемых для описания кальциевой динамики в шипиках. Компартментные модели продемонстрировали высокую интерпретируемость и удобство для связи геометрических параметров с эффективными характеристиками обмена, однако выявлено их геометрическое «слепое пятно» при описании эксцентричности и неоднородностей формы, что критично для задач морфологического уточнения. Детерминированные реакционно-диффузионные постановки на базе PDE обеспечивают строгий учёт геометрии домена и граничных потоков, предоставляя инструменты для чувствительностного анализа и формализации роли узких выходов и барьеров диффузии, но требуют аккуратного баланса между детализацией и вычислительной стоимостью при усложнении формы. Стохастические пространственные модели, в свою очередь, оказываются особенно значимыми в микрообъёмах шипика, где дискретность числа молекул и флуктуации могут менять характеристики транзисторов, однако предъявляют повышенные требования к корректности реализации граничных условий и к качеству геометрического представления мембранных поверхностей. Сравнение этих подходов позволило сформулировать методологический вывод о том, что улучшение морфологии является «универсальным усилителем» точности, повышая корректность как редуцированных, так и пространственных моделей, при условии сохранения сопоставимости сценариев и единых метрик оценки.

На основе проведённого анализа была сформулирована и обоснована предлагаемая математическая стратегия улучшения: замена простого «сосуда» (головка/шейка в виде сферы и цилиндра) на сложный компартмент, аппроксимируемый набором эллипсов/эллипсоидов. Такая параметризация позволяет воспроизводить асимметрию, переменную толщину шейки и плавные геометрические переходы, оставаясь при этом достаточно компактной для систематических численных экспериментов и идентификации параметров. Принципиально важным результатом работы является формализация того, что в реакционно-диффузационной постановке геометрия должна рассматриваться не как второстепенный элемент визуализации, а как часть механизма, влияющая на времена релаксации, интенсивность утечки в дендрит и характер пространственных градиентов, а также определяющая чувствительность модели к расположению мембранных процессов и внутриклеточных депо.

Практическая часть исследования была дополнена разработкой демонстрационного стенда (демо-стенда), предназначенного для наглядного представления результатов данной работы в формате одностороничного лендинга-портфолио. Демо-стенд включает структурированное изложение названия и содержания работы, цели и задач, обоснование актуальности, подборку наиболее релевантных исследований, описание проблемы и существующих методов её решения и сводный анализ сравнения подходов.

Данная работа подтверждает исходную гипотезу о том, что параметризованная эллиптическая морфология способна уменьшить систематические погрешности, возникающие при сферо-цилиндрической идеализации, и тем самым повысить точность моделирования обмена  $\text{Ca}^2$  между головкой шипика и дендритом. Концептуальная ценность результата состоит в предложении «среднего» уровня сложности между грубой редукцией и полной 3D-реконструкцией: эллипсоидная аппроксимация сохраняет управляемость параметров и сравнимость серий экспериментов, одновременно расширяя геометрическую выразительность модели. Практическая ценность заключается в готовности подхода к внедрению в программный конвейер реакционно-диффузационных симуляций и в наличии демонстрационного стенда, который фиксирует архитектуру решения, ключевые блоки анализа и точки для дальнейшего расширения — включая последующее уточнение внутренних компартментов, протоколы валидации на экспериментальных профилях и систематический чувствительностный анализ влияния морфологии на кальциевую динамику.

## Генерация аннотации

### Промпт

Создай аннотацию для полученной научной статьи. Аннотация – это один из видов сокращенной формы представления научного текста. Ее назначение – привлечь внимание читателя, пробудить читательский интерес сообщением сути исследования с помощью минимального количества языковых средств.

Требования к структуре и содержанию аннотации:

- Информативность и содержательность. Аннотация должна в обобщенном виде представлять содержание статьи. В тексте аннотации не стоит использовать общие фразы, а также указывать несущественные детали и общеизвестные положения. Предыстория (история вопроса) может быть приведена только в том случае, если она напрямую связана с раскрытием цели исследования.
- Оригинальность. Следует избегать прямых повторов каких-либо фрагментов работы. Название статьи не должно дублироваться в тексте аннотации.
- Четкость, логичность и связность изложения.
- Компактность. Объем аннотаций к статьям должен составлять 50-100 слов.

В аннотации должны быть представлены следующие аспекты содержания статьи:

- предмет, тема, цель работы (указываются в том случае, если они не ясны из заглавия статьи);
- метод или методология (их целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы);
- результаты работы (предпочтение отдается новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение);
- выводы (они могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье).

Не рекомендуется:

- включать в аннотацию таблицы, рисунки, схемы, диаграммы и формулы;
- приводить ссылки на номера публикаций из пристатейного списка литературы;
- использовать сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных. Если сокращения все же вводятся, то при первом употреблении необходимо дать их расшифровку.

## Результат генерации

В статье рассматривается повышение точности моделирования кальциевой динамики в дендритном шипике за счёт замены упрощённой геометрии «сфера–цилиндр» на параметризованную морфологию, аппроксимируемую эллипсами и эллипсоидами. Предложена методология встраивания новой геометрии в реакционно-диффузационную постановку с граничными потоками через мембранны и расчётом сопоставимых метрик (пиковая концентрация, время спада, интегральный сигнал, связь «шипик–дендрит»). Выполнено сравнение компартментных, детерминированных и стохастических подходов с точки зрения геометрической чувствительности и вычислительной стоимости. Показано, что эллиптическая параметризация обеспечивает воспроизводимые серии экспериментов и снижает геометрически обусловленную систематическую ошибку.

## Генерация перевода аннотации на английский язык

### Промпт

Ты – профессиональный лингвист, эксперт по научному стилю и носитель английского языка. Твоя задача – выполнить глубокий лингвистический и смысловой анализ предоставленного русскоязычного текста и создать его идеальный перевод на английский язык, который будет звучать как оригинальный академический текст, написанный специалистом в соответствующей области.

Требования к работе:

- Анализируй текст перед переводом:
  - определи тему, научную область и предмет исследования;
  - оцени стиль (академический, формальный, обзорный и т. д.);
  - улови тон (нейтральный, аналитический, информативный);
  - выдели ключевые термины, сложные концепты, логические связи.
- Адаптация под английскую научную стилистику:
  - используй формулировки и лексику, характерные для англоязычных научных статей;
  - обеспечь терминологическую точность;
  - избегай кальки, дословных конструкций и неестественных оборотов;
  - ориентируйся на стиль журналов уровня Scopus / Web of Science.
- Переводи не по предложениям, а по абзацам:
  - сохраняй целостность мысли;
  - передавай логику изложения, научный регистр и структуру;
  - допускается перестройка фраз для естественности английского академического языка.
- Адаптация под английскую научную стилистику:
  - используй формулировки и лексику, характерные для англоязычных научных статей;
  - обеспечь терминологическую точность;
  - избегай кальки, дословных конструкций и неестественных оборотов;
  - ориентируйся на стиль журналов уровня Scopus / Web of Science.

Все переводческие решения принимай самостоятельно, исходя из контекста текста и лучших практик профессионального научного перевода.

## Результат генерации

### Лингвистический и смысловой анализ

**Тема и научная область:** текст относится к вычислительной нейробиологии и биофизике, конкретно

к пространственному моделированию кальциевой сигнализации в дендритном шипике. Предмет исследования — влияние геометрического представления морфологии шипика на точность реакционно-диффузионных расчётов и на количественные показатели обмена  $\text{Ca}^2$  между шипиком и дендритом.

**Стиль и тон:** аннотация написана в академическом, обзорно-информационном регистре с акцентом на постановку задачи, методологический вклад и практический результат. Тон нейтральный, аналитический, без оценочной лексики; используются типичные для научного резюме глаголы «рассматривается», «предложена», «выполнено», «показано», обеспечивающие логическую связность и формальную доказательность.

**Ключевые термины и сложные концепты:** «кальциевая динамика», «дендритный шипик», «упрощённая геометрия “сфера–цилиндр”», «параметризуемая морфология», «аппроксимация эллипсами/-эллипсоидами», «реакционно-диффузионная постановка», «границные потоки через мембранны», «сопоставимые метрики», «комpartmentные/детерминированные/стохастические подходы», «геометрическая чувствительность», «вычислительная стоимость», «систематическая ошибка», «демо-стенд». В английской версии важно избежать кальки и использовать устойчивые формулы: reaction-diffusion framework, boundary fluxes at membranes, parameterized ellipsoidal geometry, geometry-induced bias, spine-to-dendrite coupling, reproducible parameter sweeps/benchmarking.

**Логические связи:** причинно-следственная структура выражена через «за счёт» (means/by replacing), затем вводится методология (proposed methodology), далее сравнение (comparative analysis), и итоговое утверждение (shown/demonstrated) плюс практический артефакт (demo testbed).

#### Перевод:

The paper addresses improved accuracy in modeling calcium ( $\text{Ca}^2$ ) dynamics within dendritic spines by replacing the conventional sphere–cylinder idealization with a parameterized morphology approximated by ellipses and ellipsoids. We introduce a methodology for embedding this geometry into a reaction–diffusion framework with membrane boundary fluxes and for computing directly comparable readouts, including peak concentration, decay time, integrated signal, and spine-to-dendrite coupling. A comparative assessment of compartmental, deterministic, and stochastic formulations is performed in terms of geometric sensitivity and computational cost. The results indicate that ellipsoidal parameterization enables reproducible parameter sweeps and reduces geometry-induced systematic bias.

## Генерация ключевых слов

### Промпт

Сгенерируй ключевые слова для полученной научной работы. Ключевые слова должны быть представлены на русском и английском языках.

### Результат генерации

**Ключевые слова:** дендритный шипик; кальциевая динамика; кальциевая сигнализация; реакционно-диффузионное моделирование; диффузия в сложной геометрии; параметризуемая морфология; эллипсы и эллипсоиды; геометрическая аппроксимация; граничные потоки через мембранны; буферизация кальция; эндоплазматический ретикулум; рианодиновые рецепторы; связь «шипик–дендрит»; компартментные модели; стохастические модели; численные методы.

**Keywords:** dendritic spine; calcium dynamics; calcium signaling; reaction–diffusion modeling; diffusion in complex geometries; parameterized morphology; ellipses and ellipsoids; geometric approximation; membrane boundary fluxes; calcium buffering; endoplasmic reticulum; ryanodine receptors; spine-to-dendrite coupling; compartmental models; stochastic models; numerical methods.

## Структурный анализ НИР

### Промпт

Проанализируй научный текст на соответствие академической структуре научной статьи.

1. Определи наличие и степень выраженности следующих элементов:

- актуальность;
- цель исследования;
- задачи исследования;
- объект и предмет исследования;
- методология;
- результаты;
- выводы.

2. Представь результаты в виде таблицы:

- колонка 1 – элемент структуры;
- колонка 2 – цитата из текста (или отметка «отсутствует»);
- колонка 3 – краткий комментарий.

3. Отдельно оцени:

- логическую связность «актуальность → цель → задачи → методы → результаты → выводы»;
- соответствие выводов поставленной цели и задачам;
- наличие логических противоречий.

4. Не добавляй информацию, отсутствующую в тексте. Если элемент выражен неявно – укажи это явно.

## Результат генерации

**Оценка логической связности «актуальность → цель → задачи → методы → результаты → выводы»** Связность в цепочке в целом выдержанна: сначала обоснована геометрическая чувствительность Са<sup>2</sup>-динамики и ограниченность «шар+цилиндр», затем прямо сформулирована цель (замена геометрии на эллиптическую), после чего перечислены задачи (формализация перехода, анализ чувствительности, валидация). Далее следует большой блок обзора/анализа методов и сравнений, который логически подводит к предлагаемой стратегии. При этом звено «методы → результаты» выражено слабее, поскольку в тексте отсутствует самостоятельный раздел с результатами расчётов/валидации; формулировки «показано» и «ключевой итог» употребляются преимущественно как итоговые утверждения в заключении.

**Соответствие выводов поставленной цели и задачам** Выводы соотносятся с целью и задачами на уровне заявленных итогов: в заключении повторно фиксируется переход к эллиптической аппроксимации, её ожидаемый эффект (снижение систематической геометрической ошибки) и необходимость параметризируемой морфологии для сопоставимых серий экспериментов. Также отражены элементы задач (постановка реакция–диффузия, граничные условия, сравнение классов моделей, идея валидации как направления дальнейшего расширения). Однако соответствие носит концептуальный характер: задачи сформулированы как план действий, а результаты представлены как обобщённые выводы без демонстрации выполнения в виде данных/протокола.

**Наличие логических противоречий** Явных логических противоречий внутри текста не обнаружено: тезисы согласованы (геометрия важна → упрощение ограничивает точность → параметрическая эллиптическая геометрия — компромисс между простотой и реализмом). Потенциальная слабость — не противоречие, а недостаточная доказательная “опора”: утверждения вида «показано» и «подтверждает гипотезу» не подкреплены в тексте описанием экспериментов или численных результатов, что снижает строгость академического жанра в части эмпирического подтверждения.

Элемент структуры	Цитата из текста / «отсутствует»	Краткий комментарий
Актуальность	«В этой связи становится актуальной задача... перейти от ... "шар + цилиндр" к ... параметризумому... описанию...»; «Актуальность исследования определяется тем, что... кальциевая сигнализация... геометрически чувствительный процесс...» <a href="#">□ АНИ_нир</a>	Выражена явно и развернуто: обоснована роль геометрии, компартментализации и переносимости параметров.
Цель исследования	«Цель данной работы состоит в том, чтобы повысить точность математического описания... за счёт замены... "шар + цилиндр"... на... набором эллипсов или эллипсоидов.» <a href="#">□ АНИ_нир</a>	Сформулирована явно, в академической форме, с указанием направления улучшения (геометрия) и объекта моделирования ( $\text{Ca}^{2+}$ динамика).
Задачи исследования	«Задачи исследования... включают формализацию... перехода... к эллиптической... анализ того, какие характеристики... чувствительны... и построение процедуры валидации...» <a href="#">□ АНИ_нир</a>	Выражены явно, но описаны как набор направлений, без разнесения по подпунктам и без критериев завершения каждой задачи.
Объект и предмет исследования	Объект (неявно): «...кальциевая сигнализация в дендритных шипиках...»; предмет (неявно): «...геометрия домена диффузии... морфологические предположения... аппроксимация... эллипсами/эллипсоидами...» <a href="#">□ АНИ_нир</a>	Не оформлены как "объект/предмет" отдельными формулировками, но содержательно реконструируются: объект — $\text{Ca}^{2+}$ процессы в шипике; предмет — влияние/описание геометрии в реакционно-диффузационной модели и её аппроксимация эллиптической морфологией.
Методология	«...сформулировать диффузионно-реакционную постановку... определить корректные граничные условия... разработать вычислительную схему...»; «...встраивается в реакционно-диффузионную постановку как параметрически управляемый домен...» <a href="#">□ АНИ_нир</a>	Методология заявлена концептуально (класс моделей, тип постановки, роль геометрии), но без подробностей реализации (нет конкретного алгоритма, сеточной схемы, постановки эксперимента/протокола расчётов).
Результаты	«Показано, что... идеализация... "шар + цилиндр"... ограничивает воспроизводимость...»; «...ключевым итогом... обоснование необходимости перехода...»; «...сформулирована и обоснована предлагаемая... стратегия... замена... на... эллипсов/эллипсоидов...» <a href="#">□ АНИ_нир</a>	Результаты представлены в основном в форме тезисов/выводов; отдельного раздела «Результаты» нет, количественных данных/экспериментальных результатов в тексте не показано.
Выводы	Раздел «Заключение»: «...предлагаемая... стратегия улучшения...»; «... работа подтверждает исходную гипотезу...»; «...практическая ценность... готовности подхода... и наличии демонстрационного стенда...» <a href="#">□ АНИ_нир</a> <a href="#">↓</a>	Выводы явно сформулированы в заключении, включают методологический итог, ценность и направления развития, а также упоминание демо-стенда.

Рис. 3: Структурный анализ полученной статьи

## Выводы

В ходе работы, ориентированной на выявление возможности использования нейросетевых моделей для автоматизации научных исследований, показано, что современные большие языковые модели могут выступать эффективным инструментом сквозной поддержки исследовательского процесса на уровне подготовки текстовых и вспомогательных материалов. Наиболее устойчиво автоматизируются этапы формализации темы и постановки исследования (генерация введения с целями, задачами, актуальностью и гипотезами), первичное проектирование структуры текста, подготовка связного академического изложения, а также создание сопроводительных артефактов, повышающих наглядность и коммуникативную ценность работы.

Практическая апробация пошагового конвейера генерации продемонстрировала, что нейросеть способна воспроизведимо формировать взаимосвязанный набор компонентов научного документа: список релевантной литературы, обзор и сравнительный анализ методов, визуализации в виде UML-диаграмм, а также прикладные материалы для представления результатов. Отдельно подтверждена ценность генерации демонстрационного стенда в формате одностороннего лендинга: такой артефакт переводит результаты исследования в удобный для обсуждения и внешней экспертизы формат, ускоряет коммуникацию с потенциальными заинтересованными сторонами и позволяет стандартизировать презентацию ключевых частей работы.

Одновременно выявлены принципиальные ограничения автоматизации, влияющие на научную добросовестность и качество результата. Нейросетевые ответы требуют обязательной верификации на этапах, где критичны точность фактов и проверяемость: корректность библиографических данных и DOI, отсутствие вымышленных источников, соответствие цитирования содержанию публикаций, а также корректность интерпретаций и выводов. Таким образом, нейросеть эффективно ускоряет подготовку чернового текста и организацию материала, но не заменяет исследовательскую экспертизу, критическое мышление и процедуру доказательной проверки, особенно при переходе от обзорно-методологического уровня к получению собственных количественных результатов и их статистической/экспериментальной валидации.

В результате можно сделать вывод, что наиболее продуктивной является модель, где нейросеть используется как интеллектуальный ассистент для генерации, структурирования и редактирования, а человек — как носитель ответственности за корректность, научную новизну и верифицируемость. Для повышения надёжности автоматизации целесообразно фиксировать используемые промпты и версионность модели, задавать явные критерии качества на каждом шаге конвейера, а также внедрять процедуры контроля.