

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 1.2.05.22
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

от «20» сентября 2023 г. № 9

о присуждении Ушенину Константину Сергеевичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Персонализированные модели электрофизиологии сердца человека и их приложения» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите диссертационным советом УрФУ 1.2.05.22 14 июня 2023 г. протокол № 8.

Соискатель Ушенин Константин Сергеевич, 1993 года рождения, в 2016 году окончил магистратуру ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» по направлению подготовки 02.04.01 Математика и компьютерные науки; в 2019 году окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению 02.06.01 Компьютерные и информационные науки (Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ).

Работает в должности научного сотрудника в лаборатории математической физиологии ФГБУН Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Диссертация выполнена на кафедре вычислительной математики и компьютерных наук ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» и в лаборатории математической физиологии ФГБУН Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор **Соловьева Ольга Эдуардовна**, ФГБУН Институт иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук, директор.

Официальные оппоненты:

Иванов Дмитрий Валерьевич, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», лаборатория цифровых медицинских технологий, ведущий научный сотрудник;

Кучумов Алексей Геннадьевич, доктор физико-математических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра вычислительной математики, механики и биомеханики, профессор;

Сёмин Федор Александрович, кандидат физико-математических наук, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», лаборатория биомеханики, старший научный сотрудник;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 50 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 20 работ, из них 20 опубликовано в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, проиндексированных в базах цитирования Web of Science и Scopus. Общий объем опубликованных работ – 12.45 п.л., авторский вклад – 5.69 п.л.

Основные публикации по теме диссертации:

статьи в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:

1. Kalinin V., Shlapunov A., **Ushenin K.** On uniqueness theorems for the inverse problem of electrocardiography in the sobolev spaces // ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. 2023. Vol. 103, no. 1. P. e202100217. (Scopus, WoS) (1,81 п.л./0,36 п.л.).

2. **Ushenin K.**, Kalinin V., Gitinova S., Sopov O., Solovyova O. Parameter variations in personalized electrophysiological models of human heart ventricles // PLoS One. 2021. Vol. 16, no. 4. P. 1–29. (Scopus, WoS) (1,75 п.л./1,4 п.л.).
3. **Ushenin K.**, Nesterova T., Smarko D., Sholokhov V. Phase mapping for cardiac unipolar electrograms with neural network instead of phase transformation // 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT) / IEEE. 2020. P. 117–120. (Scopus) (0,25 п.л./0,23 п.л.).
4. Razumov A., Tya-Shen-Tin Y., **Ushenin K.** Cardiac segmentation on magnetic resonance imaging data with deep learning methods // AIP Conference Proceedings / AIP Publishing LLC. Vol. 2174. 2019. P. 020246. (Scopus, WoS) (0,25 п.л./0,05 п.л.).
5. Razumov A. A., **Ushenin K. S.**, Butova K. A., Solovyova O. E. The study of the influence of heart ventricular wall thickness on pseudo-ecg // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2018. Vol. 33, no. 5. P. 301–313. (Scopus, WoS) (0,94 п.л./0,56 п.л.).
6. Bazhutina A. E., Khokhlova A., **Ushenin K. S.**, Solovyova O. Comparison of depolarization and repolarization in mathematical models of the left ventricle and the longitudinal ventricular slice // 2018 Computing in Cardiology Conference (CinC) / IEEE. Vol. 45. 2018. P. 1–4. (Scopus, WoS) (0,25 п.л./0,1 п.л.).
7. **Ushenin K.**, Razumov A., Kalinin V., Solovyova O. In silico comparison of phase maps based on action potential and extracellular potential // 2018 Computing in Cardiology Conference (CinC) / IEEE. Vol. 45. 2018. P. 1–4. (Scopus, WoS) (0,25 п.л./0,23 п.л.).
8. **Ushenin K. S.**, Dokuchaev A., Magomedova S. M., Sopov O.V., Kalinin V.V., Solovyova O.E. Role of myocardial properties and pacing lead location on ECG in personalized paced heart models // 2017 Computing in Cardiology (CinC) / IEEE. Vol. 44. 2017. P. 1–4. (Scopus, WoS) (0,25 п.л./0,23 п.л.).
9. Bazhutina A. E., **Ushenin K. S.**, Khokhlova A. D., Golovin A. Comparison of depolarization and repolarization in mathematical models of the left ventricle and a

- thin myocardial slice // CEUR Workshop Proceedings / CEUR-WS. Vol. 1894. 2017. P. 226–235. (Scopus) (0,63 п.л./0,19 п.л.).
10. **Ushenin K. S.**, Bazhutina A. E., Zverev V. S., Dokuchaev A.D., Khamzin S.Y. Segmentation of surface meshes of the cardiac ventricles for the modeling of myofiber direction field // CEUR Workshop Proceedings / CEUR-WS. Vol. 1894. 2017. P. 236–244. (Scopus) (0,56 п.л./0,34 п.л.).
 11. Kuklin E., Sozykin A., **Ushenin K.**, Byordov D. Liflow. A workflow automation system for reproducible simulation studies // CEUR Workshop Proceedings / CEUR-WS. Vol. 1839. 2017. P. 208–217. (Scopus) (0,63 п.л./0,25 п.л.).
 12. **Ushenin K. S.**, Pravdin S. F., Alueva Y. S., Chumarnaya T.V., Solovyova O.E. The study of scroll wave dynamics in personalized models of the left ventricle of the human heart // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2016. Vol. 31, no. 5. P. 305–316. (Scopus, WoS), (0,94 п.л./0,66 п.л.).
 13. Kuklin E., **Ushenin K.** Automatic launch and tracking the computational simulations with liflow and sumatra // CEUR Workshop Proceedings / CEUR-WS. Vol. 1729. 2016. P. 49–55. (Scopus) (0,44 п.л./0,09 п.л.).
 14. Koshelev A., Bazhutina A., Pravdin S., **Ushenin K.S.**, Katsnelson L.B., Solovyova O.E. A modified mathematical model of the anatomy of the cardiac left ventricle // Biophysics. 2016. Vol. 61, no. 5. P. 785–792. (Scopus) (0,5 п.л./0,1 п.л.).
 15. Bazhutina A. E., Koshelev A. A., Pravdin S. F., **Ushenin K. S.** An automated program complex for constructing personified analytical models of the cardiac left ventricle // CEUR Workshop Proceedings / CEUR-WS. Vol. 1662. 2016. P. 220–228. (Scopus) (0,56 п.л./0,11 п.л.).
 16. **Ushenin K.**, Kuklin E., Byordov D., Sozykin A. Computational workflow system for simulation of living systems on supercomputers // CEUR Workshop Proceedings / CEUR-WS. Vol. 1576. 2016. P. 729–735. (Scopus) (0,44 п.л./0,26 п.л.).

17. Pravdin S., Ushenin K., Sozykin A., Solovyova O. Human heart simulation software for parallel computing systems // Procedia Computer Science. 2015. Vol. 66. P. 402–411. (Scopus, WoS) (0,56 п.л./0,11 п.л.).
18. Sozykin A., Chernoskutov M., Koshelev A., Zverev V., Ushenin K., Solovyova O. Teaching heart modeling and simulation on parallel computing systems // Euro-Par 2015: Parallel Processing Workshops: Euro-Par 2015 International Workshops, Vienna, Austria, August 24-25, 2015, Revised Selected Papers 21 / Springer International Publishing. Vol. 9523. 2015. P. 102–113. (Scopus, WoS) (0,75 п.л./0,15 п.л.).
19. Sozykin A., Pravdin S., Koshelev A., Zverev V., Ushenin K., Solovyova O. Leven-a parallel system for simulation of the heart left ventricle // 2015 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT) / IEEE. 2015. P. 249–252. (Scopus, WoS) (0,25 п.л./0,05 п.л.).
20. Ushenin K., Byordov D. An HPC-based approach to study living system computational model parameter dependency // CEUR Workshop Proceedings. Vol. 1513: Proceedings of the 1st Ural Workshop on Parallel, Distributed, and Cloud Computing for Young Scientists (Ural-PDC 2015). Yekaterinburg, 2015 / Уральский федеральный университет. Vol. 1513. 2015. P. 67–74. (Scopus) (0,44 п.л./0,22 п.л.).

Отзывов на автореферат не поступило

Выбор официальных оппонентов обосновывается известностью их научных достижений, большим научным вкладом и авторитетом в области математического моделирования биологических систем и физиологических процессов организма человека.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук соответствует п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ и

является научно-квалификационной работой, в которой удалось получить решение научной задачи: разработка численного метода картирования электрофизиологической функции миокарда, имеющей значение для развития таких отраслей знаний как: математическое моделирование, численные методы обработки сигналов и электрокардиография.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Построена популяция персонализированных моделей миокарда желудочков сердца человека. Часть моделей воспроизводит сигналы на отведениях массива электродов со средней корреляцией выше 0.75 и средней нормализованной средне-квадратичной ошибкой ниже 15%, что превосходит точность моделей, представленных другими авторами. Построенные модели можно использовать для генерации синтетических наборов данных, необходимых при разработке новых методов обработки электрограмм сердца.
2. Проведен анализ чувствительности моделей к изменениям параметров, в том числе с помощью нового оригинального подхода. Выявлены регионы поверхности желудочков сердца и торса, на которых регистрируемые потенциалы наиболее чувствительны к вариации параметров модели.
3. Разработана модификация метода фазового картирования миокарда. Предложенный подход позволяет устранить артефакты стандартного метода фазового картирования, которые выявляются при обработке синтетического набора данных, генерируемых персонализированными моделями миокарда желудочков сердца человека.
4. Разработан новый метод картирования миокарда с использованием свёрточных нейронных сетей. Метод позволяет осуществлять обработку данных

внеклеточных потенциалов, зарегистрированных на поверхности миокарда, и визуализировать их в удобном для интерпретации виде.

Диссертация является теоретической работой в области численного моделирования процессов, происходящих в миокарде. Полученные результаты могут найти применение в дальнейших теоретических исследованиях по улучшению качества моделей в этом направлении, а также в разработке новых практических подходов к улучшению терапии и диагностики болезней сердца.

На заседании 20 сентября 2023 г. диссертационный совет УрФУ 1.2.05.22 принял решение присудить Ушенину К.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 1.2.05.22 в количестве 16 человек, в том числе 12 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета

УрФУ 1.2.05.22

Ученый секретарь

диссертационного совета

УрФУ 1.2.05.22



Тименов Владимир Германович

Косолобов Дмитрий Александрович

20.09.2023 г.