

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 999.055.04 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ, ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ
ЦЕНТР» ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
«ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ И МЕТАЛЛУРГИИ» ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 31 мая 2018 года № 3
о присуждении Павельчук Анне Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой
степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование процессов зарядки полярных диэлектриков в
условиях электронного облучения» по специальности 05.13.18 – «Математическое модели-
рование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 28 марта 2018 года,
протокол № 2, объединенным диссертационным советом Д 999.055.04 на базе федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсо-
мольский-на-Амуре государственный университет» Министерства образования и науки РФ,
федерального государственного бюджетного учреждения науки «Вычислительный центр»
Дальневосточного отделения Российской академии наук, федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения и металлургии» Дальневосточно-
го отделения российской академии наук, федерального государственного бюджетного обра-
зовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет»
Министерства образования и науки РФ, 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27,
приказ Минобрнауки РФ от 03.10.2017 № 997.

Соискатель Павельчук Анна Владимировна 1985 года рождения, в 2007 году окончила
с отличием государственное образовательное учреждение высшего профессионального обра-
зования «Амурский государственный университет». В 2017 году окончила заочную аспиран-

туру по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Амурский государственный университет». С 1 сентября 2007 года работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Амурский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (с 2007 г. по 2013 г. в должности ассистента, с 2013 г. по 2015 г. – старшего преподавателя кафедры общей математики и информатики, с 2015 г. по настоящее время – в должности заместителя директора по учебно-методической работе). Диссертация выполнена на кафедре «Математический анализ и моделирование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет» Министерства образования и науки РФ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Масловская Анна Геннадьевна, профессор кафедры «Математический анализ и моделирование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Амурский государственный университет».

Официальные оппоненты:

- Нефедев Константин Валентинович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры компьютерных систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет» (г. Владивосток);

- Прохоров Игорь Васильевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной математики» Дальневосточного отделения Российской академии наук (г. Владивосток),

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет» (г. Хабаровск), в своем положительном заключении, подписанном Сином А.З., кандидатом физико-математических наук, доцентом, деканом факультета компьютерных и фундаментальных наук, и Вихтенко Э.М., кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры программного обеспечения вычислительной техники, и утвержденном проректором Пугачевым И.Н., доктором технических наук, профессором, указала, что диссертация Павельчук А.В. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение важной научной задачи, имеющей значение для развития подходов к математическому моделированию сложных физических процессов: предложена новая математическая модель процесса зарядки диэлектриков с учетом запаздывания, разработаны и реализованы эффективная вычислительная схема и алгоритмы в виде комплексов проблемно-

ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента. Полученные соискателем научные результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Материал диссертации изложен вполне конструктивно и содержит большой потенциал новизны одновременно в трех научных областях: математическом моделировании, численных методах и комплексах программ. Оформление текста соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, научный стиль диссертации выражен. Основные научные результаты достаточно полно опубликованы в работах соискателя. Автореферат диссертации отражает ее основное содержание.

Отзыв на диссертацию ведущей организации ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» (г. Хабаровск) включает замечания. 1. При построении конечно-разностной схемы автор использует различные подходы для аппроксимации нелинейного слагаемого в правой части уравнения параболического типа: в первой подсхеме используется явное значение с k -го слоя $(\rho_{ij}^k)^2$, а во второй – произведение $\rho_{ij}^k \cdot \rho_{ij}^{k+1}$ (а не, например, $(\rho_{ij}^{k+1/2})^2$). Этот выбор требует дополнительного пояснения при изложении результатов диссертации. 2. Использование цилиндрической симметрии при постановке математической задачи требует обоснования. Возникает вопрос, почему автор не использует сферическую симметрию? 3. Автору следовало уделить внимание пояснению смысла вводимых граничных условий для дифференциальной задачи. 4. В диссертации уделено внимание только двум методам приближенного решения уравнений математической физики – методу конечных разностей и методу конечных элементов. Из текста диссертации не следует мнение автора о возможности применения альтернативных подходов, например, аналитико-приближенных методов проекционной группы. 5. По структуре диссертации и стилю ее оформления можно сделать следующие замечания. Обзорная глава 1 диссертации является «перегруженной» (объем составляет около 50 страниц), в связи с чем, представляется, что более удачная логика и последовательность изложения позволили бы оптимизировать объем материала в этой главе. В заключительных разделах глав и заключении диссертации встречаются затрудняющие восприятие излишне длинные фразы (представляющие абзацы из 6-8 строк), которые для лучшего восприятия следовало бы разделить на несколько предложений, правильно расставив акценты при таком изложении. В автореферате неверно сделаны ссылки на соответствующие разделы диссертации: раздел 3.1, раздел 3.2.

В заключительной части отзыва на основании детального анализа материалов диссертации соискателя, отмечено, что результаты выполненных исследований обладают значимостью для развития научной специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов диссертационная работа отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявля-

емым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Павельчук Анна Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными специалистами в исследуемой области, а ведущая организация широко известна достижениями работающих в ней специалистов в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе 4 статьи – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 4 статьи – в реферируемых изданиях, цитируемых международными базами Web of Science и Scopus. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Публикации представляют собой статьи в научных изданиях и материалы докладов в сборниках научных конференций, изданные как в соавторстве, так и лично. Общий объем работ по теме диссертации составляет 9,56 печатных листа. Авторский вклад в подготовку работ, опубликованных в соавторстве, заключается в математической постановке задач моделирования; разработке вычислительных схем, методов и алгоритмов; проектировании и программной реализации системы компьютерного моделирования; постановке, проведении и анализе результатов вычислительных экспериментов.

Наиболее значимые работы:

1. Maslovskaya, A. Simulation of dynamic charging processes in ferroelectrics irradiated with SEM / A. Maslovskaya, **A. Pavelchuk** // *Ferroelectrics*. – 2015. – V. 476. – P. 157-167.

2. **Павельчук, А.В.** Конечно-элементное моделирование электронно-индуцированной зарядки сегнетоэлектриков с использованием инструментария COMSOL Multiphysics // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2016. – № 4 (52). – С. 132-133.

3. Ковальский, И.А. Разработка программного обеспечения для задач исследования формирования РЭМ-изображений доменных структур сегнетоэлектрических материалов / И.А. Ковальский, **А.В. Павельчук**, А.Г. Масловская // *Вестник Иркутского гос. техн. ун-та*. – 2016. – № 5. – С. 56-64.

4. Павельчук, А.В. Имитационное моделирование характеристик инжекционных процессов при модификации сегнетоэлектриков электронным облучением / **А.В. Павельчук**, А.Г. Масловская // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2017. – № 6. – С. 214-217.

5. Maslovskaya, A. Simulation of heat conductivity and charging processes in polar dielectrics induced by electron beam exposure / A. Maslovskaya, **A. Pavelchuk** // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2015. – V. 81. – P. 012119 (6). doi:10.1088/1757-899X/81/1/012119.

6. **Pavelchuk, A.** Electron injection and polarization reversal processes in ferroelectrics analyzed with SEM: modelling of electron beam-stimulated effects / A. Pavelchuk, T. Barabash,

A.G. Maslovskaya // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2016. – V. 110. – P. 012080 (6) doi:10.1088/1757-899X/110/1/012080.

7. **Pavelchuk, A.V.** Simulation of internal charge distribution and spatial charge characteristics of ferroelectrics irradiated by focused electron beam / A.V. Pavelchuk, A.G. Maslovskaya // Proc. SPIE 10176, Asia-Pacific Conference on Fundamental Problems of Opto- and Microelectronics, 2017. – P. 101760P (12); doi:10.1117/12.2268165.

8. **Pavelchuk, A.V.** Numerical simulation of electron beam-induced dielectric charging using advanced computational scheme for solving semilinear reaction-diffusion equation / A.V. Pavelchuk, A.G. Maslovskaya // World Journal of Modelling and Simulation, 2018. – V. 14. – No 2. – P. 83-89.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы. Все отзывы положительные (указано основное отражение замечаний).

Отзыв на диссертацию официального оппонента Нефедова К.В., доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры компьютерных систем ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», имеет замечания. 1. Используемая модель не учитывает кулоновское взаимодействие между свободными электронами в пучке и, особенно, в заряженных доменах полярного диэлектрика. Оценка влияния этого взаимодействия на физические величины, такие как «объемная плотность зарядов», или «генерационное слагаемое» не проводилась. Выбор доверительных интервалов для неупругого и упругого взаимодействий заряженных частиц автором не обоснован. 2. Бары статистических ошибок для вычислительных экспериментов, проведенных методом Монте-Карло, не приводятся на графиках. Какой критерий для оценки качества результатов использовался? Например, см. рисунок 4.16 – автором не установлена точность оценки распределения потерь энергии электронами по глубине. 3. На рисунке 4.7 приводится сравнение результатов расчета транспорта электронов для тестового объекта (Ag) при $E_0=20$ кэВ, полученных в авторской программе, с результатами симуляции в программе CASINO и результатами симуляции в программе PENELOPE. Какими причинами можно объяснить визуальное различие в результатах расчета? 4. В диссертации встречаются неточности в обозначении переменных, констант, индексов и ошибки в нумерации рисунков. В некоторых формулах используются затрудняющие понимание обозначения (см. стр. 76 – нулевая степень). В некоторых местах вводятся одни и те же обозначения для разных физических величин, причем в одних и тех же параграфах, например, «Т» – температура (см. стр. 85) и «Т» – время действия источника (см. стр. 86). Имеются рисунки с одинаковыми номерами: дважды использован номер рисунка 4.17 – на стр. 156 и номер 4.18 на стр. 157. Некоторые формулы содержат нераспознанные символы (см. стр. 110). Обозначения векторных величин используются или не используются произвольно. В диссертации также содержатся отдельные орфографические и пунктуационные ошибки.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Прохорова И.В., доктора физико-математических наук, заместителя директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук, имеет замечания. 1. На страницах 49, 50, 51, 69, 76, 82, 89, 93, 111, 112, 124, 125 и др. содержатся очень неудачные фразы и пропущенные слова: «...существует ограниченная константа...», «...из теории математической физики...», «...для физико-математических задач...», «физико-математическая модель», «физико-математическая постановка», «...из основ алгебры...», «...непрерывность задачи...» (пропущено «решения?»), «...контроль математической замкнутости...», «...падает перпендикулярно плоскости поверхности образца в некоторую точку под некоторым углом...», «... по общепринятой для метода переменных идеологий» (пропущено «направлений?»), «литературный анализ», «норма-максимум» (имеется ввиду равномерная норма?). 2. На страницах 57 и 59 в уравнениях параболического типа для функции «*u*» допущены опечатки, меняющие тип уравнения. 3. На странице 87 автор смело использует понятие «корректная математическая модель», полагая при этом, что данное определение широко известно. Если это действительно так, то не помешала бы соответствующая ссылка. 4. На странице 22 приведено утверждение: «значение полной длины свободного пробега оказывается меньше минимального среди значений величин средних длин свободного пробега (из числа реализуемых взаимодействий) [3]». Это утверждение очевидно и не нуждается в ссылке [3], но глагол «оказывается» наводит на мысль, что это совсем не очевидно. Возможно, автор хотел сказать что-то другое?! 5. На страницах 70, 71 описывается алгоритм построения траекторий электронов в облучаемой мишени. Возникает много вопросов в связи с необоснованным произволом в определении доверительных интервалов для вероятности упругого и неупругого рассеяния в разных зонах мишени, и для вероятности рассеяния в разных диапазонах изменения угловой переменной. Ведь выбор этих параметров зависит от химического состава вещества в образце, его объема и энергии облучения, и не может быть одним и тем же в разных условиях вычислительного эксперимента. 6. Не понятно, как осуществлялся контроль точности вычислений в задаче транспорта электронов с помощью метода Монте-Карло. Почему использовалось число траекторий в диапазоне от 1000 до 10000, а не в каком-то другом диапазоне? На странице 138 приведены рассуждения по поводу точности Монте-Карло, вызывающие лишь дополнительные вопросы. В частности, почему метод Монте-Карло применим только при решении задач, где требуется точность порядка 5-10 процентов. Оппоненту известна масса примеров, когда это не так. Например, в задачах томографии и атмосферной оптики ошибка вычислений для различных модификаций метода Монте-Карло, основанных на понижении дисперсии оценки моделируемой величины, зачастую, не превышает 1-2 процентов. 7. На первом этапе моделирования процесса зарядки полярных диэлектриков, автор находит распределение плотности электронов в облученной мишени. Фактически на этом этапе находит-

ся решение краевой задачи для интегро-дифференциального уравнения переноса электронов с помощью модификации метода Монте-Карло, называемой «оценкой по столкновениям», и затем методом наименьших квадратов осуществляется аппроксимация полученного решения функцией Гаусса или распределением Рэля. Спрашивается зачем? Ведь в этом случае, несмотря на положительный момент, связанный дискриминацией ошибок метода Монте-Карло, происходит нежелательное искажение реальной плотности распределения электронов в веществе. С таким же успехом можно было сразу использовать диффузионно-возрастное приближение уравнения переноса, которое по форме совпадает с распределением Рэля (2.26), приведенном на странице 80 диссертации, причем свободные параметры распределения выражаются через мощность источника и сечение рассеяния электронов без предварительного достаточно трудоемкого имитационного моделирования траекторий.

Отзыв на автореферат Пименова В.Г., доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой вычислительной математики и компьютерных наук ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург), имеет следующие замечания (указаны номера страниц и источников в тексте диссертации). 1. На стр. 37 написано «Используя подход Лагранжа, запишем для некоторой функции, зависящей от двух пространственных переменных ...», но функция зависит от трех пространственных переменных. Видимо опечатка. 2. Литературный обзор хороший, но есть неточности. Так на стр. 57 указано, что в работах польских математиков Камонта и Черноуса применен принцип разделения конечномерной и бесконечномерной составляющей в структуре состояния систем с запаздыванием. Но, насколько мне известно, в упомянутых работах такой принцип не применяется. Этот принцип возник в работах уральских математиков (Н.Н. Красовского, С.Н. Шиманова и других) при исследовании задач устойчивости и активно применяется как раз нашей группой при разработке численных методов. На этой же странице упомянута теория смешанных функционально-дифференциальных уравнений (хотя непонятно, как эта теория относится к теме диссертации) и стоит ссылка на монографию А.Д. Мышкиса [158]. Эта теория действительно создана А.Д. Мышкисом, но совсем в других публикациях, вышедших через десятилетие после [158]. 3. Глава 2 названа «Математическое обеспечение...» Но этот термин имеет совсем другое значение, особенно в среде компьютерных специалистов. Лучше было бы использовать другой термин, например, математические средства, математические методы. 4. На стр. 87 используется термин «Корректность математической модели». Но корректность в математике означает совсем другое: существование, единственность решения и непрерывная зависимость от исходных данных. Тоже неудачное, на мой взгляд, смешение терминов. Попутно замечание на будущее: затронуть всё же вопросы корректности в математическом смысле для параболических уравнений с запаздыванием в операторе Лапласа. 5. В списке литературы непонятная работа [173], среди авторов указан и я. Скорее всего, здесь смешались две работы: [177] и еще какая-то работа наша с А.В. Ки-

мом. И опечатка в фамилии одного из авторов обзора [177]: Уатпт – неправильно. 6. И последнее замечание носит характер пожелания – ввести в модель функциональное запаздывание: переменное или распределенное, всё-таки постоянное сосредоточенное запаздывание зачастую слишком большое огрубление в математической модели.

Отзыв на автореферат Полетаева Г.М., доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой высшей математики и математического моделирования ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул), не имеет замечаний.

Отзыв на автореферат Зверева В.Г., кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией Научно-исследовательского института прикладной математики и механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск), имеет следующие замечания. 1. Отсутствуют данные об эффективности предложенной вычислительной технологии. Приведенный в 4.3 примеры в большей степени отвечают «мягким» режимам зарядки сегнетоэлектриков, в то время как реально преобладают «жесткие» режимы, что математически соответствует появлению в определяющих уравнениях малого параметра при старшей производной». 2. Для решения транспортных уравнений переноса в диффузионно-дрейфовом приближении, на мой взгляд, целесообразно использовать известную в электрофизике разностную схему Шарфеттера-Гуммеля (Scharfetter-Gummel). Ее преимуществом является возможность получения монотонного решения в условиях преобладания одного процесса над другим.

Отзыв на автореферат Полупанова А.А., кандидата технических наук, доцента кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» (г. Краснодар), имеет следующие замечания. 1. Из автореферата не ясно, какие ограничения используются для временного лага t^* . 2. На стр. 17 автореферата, соискатель приводит оценку относительной погрешности отклонения решений по норме, не превышающей 2%, однако не ясно, каковы: оптимальное соотношение шагов по координатам и времени, полученные в результате вычислительных экспериментов.

Отзыв на автореферат Степовича М.А., доктора физико-математических наук, профессора кафедры физики и математики ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского» (г. Калуга), имеет замечания. 1. «Аппроксимация пространственного распределения потерь энергии электронов в веществе строилась с помощью распределения Гаусса» (стр. 11 автореферата). Однако возможен и иной подход к количественному описанию потерь энергии киловольтными электронами в конденсированном веществе, основанный на возможности раздельного количественного описания вклада энергии поглощенных в мишени и обратно рассеянных электронов – см. Михеев Н.Н., Петров В.И., Степович М.А. // Известия АН СССР. Серия физическая. 1991. Т. 55. №8. С. 1474; Михеев Н.Н., Степович М.А. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1996. Т. 62. №4. С. 20. В этих и

некоторых последующих работах авторов показано, что эта модель для электронов средних энергий является физически более обоснованной и описывает потери энергии электронным зондом в конденсированном веществе гораздо лучше, чем распределение Гаусса. Это становится весьма существенным при описании объектов микро- и нанoeлектроники – см., например, Stepovich M.A., Amrastanov A.N., Seregina E.V. and Filippov M.N. // *Journal of Physics: Conf. Series.* 2018. V. 955. P. 012040. 2. «В разделе 2.6 в соответствии с общей методологией моделирования приведены контрольные проверки корректности математической модели» (стр. 13 автореферата). К сожалению, краткость изложения, характерная для всех авторефератов, не позволяет оценить эту часть диссертационной работы, к тому же из списка литературы не ясно, где опубликованы результаты этой работы. Могу лишь отметить, что доказательство математической корректности используемой модели является одним из обязательных условий математического моделирования, хотя подобные исследования при количественном описании физических явлений и процессов проводятся далеко не всегда в необходимом объеме в силу их трудоёмкости – см., например, Polyakov A.N., Smirnova A.N., Stepovich M.A., Turtin D.V. // *Lobachevskii Journal of Mathematics.* 2018. V. 39. No. 2. P. 259. 3. Имеются небольшие огрехи в оформлении работы. Так, например, на стр. 2 автореферата название кафедры научного руководителя диссертанта указано не в соответствии с правилами русского языка и ГОСТ (название кафедр пишутся строчными буквами без кавычек и склоняются). 4. Превышен объём автореферата.

Отзыв на автореферат Андрианова С.Н., доктора физико-математических наук, профессора, почетного работника Высшей школы РФ, заведующего кафедрой компьютерного моделирования и многопроцессорных систем ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург), имеет замечания. Очень длинные предложения, некоторые из которых занимают до десяти строк, что затрудняет восприятие материала. Избыточно громоздки положения, выносимые на защиту, тем более, что ранее по тексту основная информация уже приводилась. Например, можно было бы сформировать первое положение следующим образом «Математическая модель процесса зарядки диэлектриков при электронном облучении», а оставшуюся часть вынести за пределы списка основных положений. Это касается всех положений, выносимых на защиту, то раздел «Достоверность и обоснованность результатов» было бы предпочтительнее представить в виде нескольких составных частей. Иными словами, разбить семистрочный абзац на 5-6 пунктов. Аналогичные замечания, по мнению рецензента, следует дать и по форме представления списка «Основных результатов работы». Они избыточно громоздки, что в определенной степени затрудняет их восприятие.

Отзыв на автореферат Чезганова Д.С., кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории наноразмерных сегнетоэлектрических материалов Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный универ-

ситет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург), не имеет замечаний.

Отзыв на автореферат Пластун И.Л., доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры информационной безопасности автоматизированных систем ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.» (г. Саратов), имеет замечания. 1. Из текста автореферата не вполне понятна сфера практического применения диссертационного исследования: не указано, в каких задачах могут быть применены результаты проведенных численных экспериментов. 2. Не приводятся экспериментальные данные, на основе которых может быть реализована верификация полученных результатов. В качестве единственного средства верификации отдельных результатов указана только платформа COMSOL Multiphysics. 3. Фраза «для вычисления вектора поляризации используется выражение $\mathbf{P} = (\epsilon - 1)\epsilon_0 \mathbf{E}$ », приведенная на стр. 14, некорректна, поскольку приведенное выражение только отражает зависимость поляризации вещества от электрического поля в случае однородной среды, и для вычисления компонент вектора поляризации не может быть использовано. Как известно, для вычисления компонент вектора поляризации используется тензор поляризуемости вещества, а в случае учета эффекта запаздывания, о чем говорится в задачах диссертационного исследования, поляризация и электрическое поле связаны интегральной зависимостью по времени.

Отзыв на автореферат Черепанов О.И., доктора физико-математических наук, профессора кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (г. Томск). Отзыв содержит замечания. 1. Одним и тем же символом обозначаются разные величины: символ ρ в одном случае (формула (1) автореферата) обозначена плотность вещества, а следом, в формуле (5) – плотность заряда. 2. Имеются недостатки в оформлении рисунков: слишком мелкий шрифт большинства надписей и недостаточная толщина линий на графиках. 3. Используются неудачные выражения типа «абсолютное значение поля», что надо понимать, по видимому, как «модуль вектора напряженности» (рис. 6, 7).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** математическая модель процесса электронно-стимулированной зарядки полярных диэлектриков с учетом эффекта запаздывания по времени, основанная на решении реакционно-диффузионно-дрейфового уравнения с запаздыванием и аппроксимации функции источника с помощью расчета транспорта электронов методом Монте-Карло;

- **предложена** вычислительная методика решения многомерного нестационарного реакционно-диффузионно-дрейфового уравнения с запаздыванием, представляющая модификацию экономичного метода переменных направлений; проведен теоретический анализ вычислительной схемы;

- **выполнена** программная реализация вычислительных алгоритмов в виде программного комплекса, интегрирующего модули расчета электронных траекторий и характеристик процесса зарядки; **проведена** проверка адекватности результатов компьютерного моделирования;

- **сформулированы** результаты вычислительных экспериментов по комплексному исследованию характеристик процесса зарядки полярных диэлектриков при электронном облучении.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **изучены** теоретические аспекты процесса зарядки диэлектриков для обеспечения корректности математической постановки задачи и интерпретации результатов вычислительных экспериментов;

- **раскрыта** проблематика всех этапов полного цикла математического моделирования физической системы: от постановки задачи до анализа данных вычислительных экспериментов;

- **применительно к проблематике диссертации эффективно использованы** концепция метода расщепления для решения многомерной начально-граничной задачи математической физики с запаздыванием и метод Монте-Карло для аналитического задания функции источника зарядов;

- **изложена** вычислительная методика, которая потенциально может быть использована для математического моделирования широкого ряда объектов, описываемых уравнениями типа «конвекция-реакция-диффузия», из различных предметных областей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **определены** перспективы практического использования результатов математического моделирования для анализа динамики электронно-индуцированной зарядки и исследования условий контролируемого переключения поляризации сегнетоэлектриков;

- **разработаны и внедрены** в учебный процесс кафедры математического анализа и моделирования ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет» реализованные в программных комплексах математические модели и вычислительные методики.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- **теория** построена на использовании фундаментальных принципов математического моделирования стохастических и детерминированных систем и применении современных апробированных численных методов;

- **использованы** лицензионные программные продукты в качестве среды разработки программного комплекса (ППП Matlab) и для верификации результатов отдельных вычислительных экспериментов автора (COMSOL Multiphysics);

- **установлено** согласование полученных результатов расчета характеристик процесса

зарядки с решениями эталонных задач и с частными теоретическими и экспериментальными результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в самостоятельной разработке вычислительных методик и теоретическом исследовании вычислительных схем, разработке алгоритмов, проектировании и программной реализации системы компьютерного моделирования, проведении вычислительных экспериментов. Выбор направлений исследования, постановка прикладных задач, формализация математических моделей, анализ результатов моделирования осуществлены совместно с научным руководителем.

Диссертация охватывает основные вопросы сформулированной цели исследования и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается логичной структурой разделов диссертации, непротиворечивостью используемых методик и процедур, взаимосвязью полученных результатов и выводов.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Павельчук Анны Владимировны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится полученное автором диссертации самостоятельно решение задачи – разработка математической модели зарядки диэлектриков при электронном облучении, вычислительной методики решения диффузионно-реакционно-дрейфового уравнения с запаздыванием и программного комплекса для проведения вычислительных экспериментов по оценке характеристик процесса зарядки. Решение задачи имеет существенное значение в области математического и компьютерного моделирования сложных физических систем.

На заседании 31 мая 2018 года, диссертационный совет Д 999.055.04 принял решение присудить Павельчук Анне Владимировне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 11 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящего в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель



Тарануха Николай Алексеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета



Евстигнеев Алексей Иванович

31 мая 2018 г.