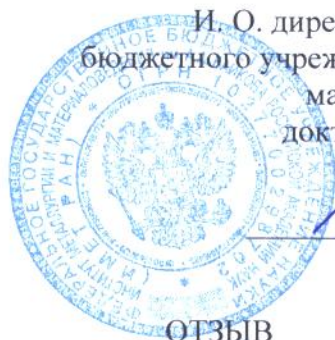


«УТВЕРЖДАЮ»



И. О. директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова РАН
доктор физ.- матем. наук В.Т. Заболотный

« 22 » декабря 2014 г.

ОТЗЫВ
ведущей организации

на диссертацию Чирской Натальи Павловны
«Математическое моделирование взаимодействия космических излучений с гетерогенными
микроструктурами», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальностям: 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и
ускорительная техника и 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

По мере развития космической техники наблюдается непрерывное усложнение оборудования, устанавливаемого на борту космических аппаратов (КА), происходит его насыщение большим количеством элементов микроэлектроники с высокой степенью интеграции, применяются многослойные тонкопленочные сенсоры и покрытия различного назначения, новые композиционные материалы с мелкодисперсными наполнителями и т.д. Особенно ярко это проявляется в последние годы в связи с начавшимися массовыми разработками различного рода микроспутников. Эти новые подходы к конструированию КА позволяют значительно уменьшить массу и габариты аппаратов, но вместе с тем они во многих случаях снижают устойчивость бортового оборудования КА к воздействию ионизирующих излучений. Потоки таких излучений являются одной из важнейших причин ухудшения свойств материалов и характеристик различных изделий, эксплуатируемых в радиационных полях космического пространства и наземных электрофизических и энергетических установок. Для корректной оценки радиационной стойкости материалов и изделий, имеющих отчетливо выраженную неоднородную микроструктуру, необходимо знать величины поглощенной дозы ионизирующего излучения в характерных элементах подобных структур, т.е. приходится решать задачу микродозиметрии. Решить эту задачу экспериментальными методами весьма сложно, поэтому необходимо развивать адекватные методы математического моделирования взаимодействия ионизирующих излучений с неоднородными микроструктурами. В этой связи тема диссертационной работы Чирской Н.П., посвященной исследованию расчетно-теоретическими методами процессов взаимодействия космических корпускулярных излучений с энергиями $\sim 10^5 - 10^8$ эВ и частиц

ионосферной плазмы с полимерными микрокомпозитами и тонкопленочными элементами конструкции и оборудования КА, является **весьма актуальной**.

При выборе подходов к решению задач диссертационной работы автором проведен глубокий сопоставительный анализ современных численных методов, алгоритмов и программных комплексов, используемых при компьютерном моделировании взаимодействия ионизирующих излучений с многокомпонентными материалами и неоднородными структурами (разд. 1 диссертации). В результате такого анализа предложена обобщенная схема моделирования радиационных воздействий на материалы и элементы оборудования КА, позволяющая выбрать оптимальные методы решения конкретных задач с учетом физической природы, энергетических спектров и пространственных распределений воздействующих излучений, а также структурных особенностей и состава исследуемых объектов.

Само по себе создание такой обобщенной схемы является новым и практически значимым результатом, обеспечивающим системный подход к решению задач рассматриваемого класса. Использование такого подхода позволило автору диссертации решить с единых методических позиций ряд задач, характеризуемых как новизной постановки, так и **новизной и высокой практической значимостью полученных результатов**.

Несомненную ценность для совершенствования конструкций КА и повышения уровня их радиационной защиты представляют результаты впервые проведенных исследований радиационно-защитных свойств современных сотовых элементов конструкции КА, разработанные на основании результатов исследований рекомендации по оптимизации состава и структуры многослойных защитных экранов, применению полимерных композитов в системах радиационной защиты, совершенствованию методики лабораторных радиационных испытаний тонкослойных структур «металл-диэлектрик-металл», присутствующих, в частности, в кабельных сетях КА (разд. 2 и разд. 3 диссертации).

Для повышения точности контроля радиационных условий полета КА большое значение имеет предложенная диссертантом новая методика определения метрологических характеристик телескопических детектирующих систем при регистрации электронов радиационных поясов Земли, основанная на расчете численными методами истинных потерь энергии электронов в детекторах (разд. 4 диссертации). Такая методика обладает значительными преимуществами по сравнению с традиционно применяемой методикой определения метрологических характеристик на основании данных о средних потерях энергии электронов. Повышение точности измерения воздействующих на КА потоков электронов с энергиями $\sim 1 - 10$ МэВ, входящих в состав радиационных поясов, очень важно, поскольку воздействием именно таких электронов обусловлены процессы внутреннего заряжения

диэлектрических материалов элементов конструкции и оборудования КА, являющиеся одной из серьезных причин возникновения отказов и сбоев в работе бортовых систем КА. Обеспечиваемое разработанной методикой повышение точности измерений электронных потоков имеет большое значение и для фундаментальных космофизических исследований, целью которых является построение новых моделей радиационных поясов Земли.

Достойное место в ряду новых и практически значимых результатов диссертационной работы занимает также описанная в разд. 5 диссертации математическая модель эрозии полимеров под действием атомарного кислорода, являющегося основным компонентом атмосферы Земли на высотах $\sim 200 - 800$ км, где осуществляются, в частности полеты орбитальных космических станций. Атомарный кислород оказывает очень сильное разрушающее действие на полимерные материалы, находящиеся на поверхности КА. Поэтому обеспечиваемая моделью возможность количественной оценки степени эрозии полимерных материалов и определения эффективности различных методов их защиты от разрушающего воздействия атомарного кислорода без проведения дорогостоящих лабораторных испытаний имеет большое практическое значение.

Следует особо подчеркнуть, что полученные в диссертационной работе результаты, сформулированные выводы и рекомендации применимы не только в космической отрасли, они важны также для развития атомной энергетики, ускорительной техники, радиационных технологий и ряда других научно-технических областей.

Достоверность научных результатов и выводов диссертационной работы определяется проведенным тщательным анализом применимости избранных методов к решению конкретных задач и их детальным тестированием, сопоставлением результатов с расчетными данными других авторов, а также с экспериментальными данными, полученными как в рамках представленной работы, так и другими исследователями.

Результаты диссертационной работы Чирской Н.П. **могут быть использованы** в ИМЕТ РАН, НИИЯФ МГУ, организациях космической отрасли: ФГУП ЦНИИмаш, НПО имени С.А.Лавочкина, ГКНПЦ имени М.В.Хруничева, ФГУП «РНИИ КП», ОАО «Комполит» и др., в НИФХИ имени Л.Я.Карпова, ФЭИ имени А.И. Лейпунского, ВИАМ, ИЭПХФ РАН, а также могут использоваться в учебном процессе в МГУ, МИЭМ ВШЭ, МИФИ, МАТИ, МАИ и в других вузах.

В качестве **замечаний** по диссертационной работе можно отметить следующее.

1) При исследовании радиационно-защитных свойств двухслойных экранов (разд. 2 диссертации) было бы полезно провести расчеты для более широкого набора толщин слоев и энергий электронов и протонов с целью обеспечения возможности выбора параметров экранов для конкретных условий использования.

2) В обзорной главе автором описывается возможность учета самосогласованного электрического поля при расчетах распределений объемных зарядов в диэлектриках. В то же время при проведении большей части расчетов в диссертации влияние внутреннего электрического поля не рассматривается. Было бы интересно оценить степень возможного влияния поля объемного заряда на процессы в многослойных структурах «металл-диэлектрик-металл».

3) В разработанной модели эрозии полимерных композитов под действием атомарного кислорода налетающие атомы выбывают из расчета при контакте с частицами наполнителя, введенными в полимерную матрицу. Таким образом, в модели не учитываются возможные процессы рассеяния атомов кислорода на частицах наполнителя, что может привести к занижению расчетных потерь массы. Следовало бы оценить возможную погрешность за счет выбранного приближения.

Оценивая диссертационную работу Чирской Н.П. в целом, можно констатировать, что по актуальности поставленной задачи и полноте ее решения, уровню научной новизны и практической значимости результатов диссертация является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Чирская Наталья Павловна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.20 – «физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника» и 01.04.16 – «физика атомного ядра и элементарных частиц».

Отзыв на диссертацию Чирской Н.П. «Математическое моделирование взаимодействия космических излучений с гетерогенными микроструктурами» обсужден и одобрен 22 декабря 2014 г. на заседании научного семинара лаборатории «Воздействие излучений на металлы» ИМЕТ РАН.

Отзыв составил

заведующий лабораторией
воздействия излучений на металлы,
доктор физ.-мат. наук



В.Н. Пименов