

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Лишневого Андрея Эриковича «Вариации радиационной обстановки на международной космической станции на фазе спада 23-го цикла солнечной активности», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – «Физика плазмы»

Актуальность темы диссертации определяется тем, что она посвящена исследованиям радиационной обстановки на международной космической станции (МКС), которая активно эксплуатируется международным сообществом. Детальная информация о вариациях радиационной обстановки важна, как для решения научных задач (изучения процессов генерации и распространения частиц в околоземном космическом пространстве), так и в прикладном аспекте (знание радиационной обстановки необходимо как при разработке аппаратуры, так и для прогнозирования уровней радиационного воздействия на экипаж МКС).

В настоящее время для решения прикладных задач обычно используют модели AP8/AE8, разработанные еще в 70-х годах прошлого века, и ГОСТы, также основанные на данных, полученных несколько десятилетий назад. Радиационные условия на орбите не всегда удовлетворительно воспроизводятся существующими моделями, так как в них не учитываются произошедшие за последние десятилетия изменения магнитного поля Земли и динамика солнечной активности. Это приводит к необходимости получения новых детальных экспериментальных результатов и длительные ряды однородных данных, полученные с помощью системы радиационного контроля (СРК) на борту МКС, безусловно, представляют собой материал большой важности.

Целью диссертационной работы является определение основных закономерностей вариаций вклада ГКЛ и протонов внутреннего радиационного пояса Земли (РПЗ) в поглощенную дозу на борту МКС по данным СРК и разработка, на базе полученных эмпирических закономерностей, инженерной методики краткосрочного прогнозирования радиационной обстановки на МКС.

Научная новизна работы определяется тем, что впервые получен долговременный ряд однородных данных, характеризующих радиационную обстановку на борту МКС. Так, в данной работе представлены измерения дозы с 2005 по 2009 гг и проведен их детальный анализ. Хорошее временное разрешение СРК и ее стабильная работа позволили впервые разделить вклады в суточную дозу от ГКЛ и частиц РПЗ для длительного интервала времени и изучить основные факторы, влияющие на их динамику. Полученные на основе этого изучения эмпирические зависимости дозы от параметров орбиты орбитальной станции (ОС) важны для проверки и уточнения существующих моделей космического пространства.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для разработки методики оперативной оценки радиационной обстановки на МКС, основанной исключительно на данных СРК.

Все представленные результаты опубликованы в 4 статьях в рецензируемых научных журналах, которые входят в список ВАК, и были представлены на 4-х российских и международных конференциях.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, перечня основных результатов и списка литературы.

Во **введении** дается общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, изложены положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В **первой главе** приводится обзор результатов изучения радиационной обстановки на околоземных орбитах. Основной вклад в дозу на орбитах ОС дают ГКЛ, РПЗ, альбедные частицы и СКЛ, потоки которых имеют свои пространственно-временные особенности и закономерности, не полностью отраженные в современных моделях космоса. Автор подробно останавливается на работах, проведенных на орбитальных станциях "Салют-6", "Мир" и МКС в первые годы ее эксплуатации. Систематический мониторинг радиационной

обстановки начал проводиться уже на станции "Салют-6" и затем еще более широко продолжился на ОС "Мир" (в экспериментах с аппаратурой "Р-16", "Доза", Люлин, ТЕРС и др., проводившихся в течение нескольких лет). После завершения эксплуатации станции "Мир", измерения продолжились на МКС. В главе проведен детальный обзор экспериментов на МКС, особенно на ее российском сегменте. Далее, в заключительной части первой главы, представлен обзор информационных комплексов, позволяющих описать радиационную обстановку в ближнем космосе (SPENVIS, CRÈME, SEREIS) на орбитах космических аппаратов (КА), дано описание их практического применения для нужд краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования радиационной обстановки. В целом из проведенного анализа складывается достаточно полная картина современного состояния исследований радиационной обстановки на околоземных орбитах. Опыт этих работ говорит, что космическая среда является очень динамической системой, современные модели не дают точного предсказания ее параметров и поэтому для оценки уровней воздействия заряженных частиц РПЗ, ГКЛ, СКЛ необходимы постоянный мониторинг радиационной обстановки непосредственно на борту КА и, в конечном итоге, разработка новых динамических моделей, чему, собственно, и посвящена диссертация.

Во **второй главе** дается описание СРК, развернутой в модуле «Звезда» Международной космической станции. Представлены основные задачи СРК, ее структурная схема и связь с другими бортовыми системами Служебного модуля МКС. Дано описание различных режимов функционирования СРК и структуры передаваемой на Землю с детекторов СРК информации, использованной в диссертации. Приведены подробные и ясные описания методик обработки данных для разделения вклада в дозу на МКС, обусловленную ГКЛ и РПЗ.

В **третьей главе** рассматриваются результаты обработки данных, полученных в двух различных режимах функционирования комплекса СРК на МКС с временным разрешением 10 минут и 10 секунд соответственно. Показано, что вклад от ГКЛ в среднесуточную мощность дозы в период 2005 – 2009 гг. изменялся в интервале от 0,08 до 0,11 мГр/сут независимо от места расположения дозиметрического блока. Условия экранировки детекторов не оказывают существенного влияния на вклад в суточную мощность дозы от частиц высокой энергии ГКЛ. Сравнение с данными нейтронных мониторов дополнительно подтверждает заключение автора о галактической природе наблюдаемого излучения. Напротив, вклад РПЗ зависит от местоположения детекторов, так как энергетический спектр излучения в РПЗ значительно более мягкий. Анализ 10 секундных данных позволил автору вычлнить зависимость потоков частиц РПЗ от высоты орбиты МКС. Были получены эмпирические формулы для оценки дозы при прохождении орбитальной станцией области внутреннего радиационного пояса, описывающие экспериментальные данные в интервале высот от 320 до 420 км. Эта глава, на мой взгляд, является наиболее важной в данной работе. Заслугой автора является то, что ему удалось выявить основные закономерности изменения радиационной обстановки на орбите МКС и построить простую и вместе с тем достаточно точную модель, описывающую эти закономерности.

Четвертая глава посвящена описанию методики оценки и краткосрочного прогнозирования радиационной обстановки на МКС на основе экспериментальных дозиметрических данных и обсуждению получаемых с ее помощью результатов. Как можно видеть из рис. 74 и 75 диссертации, для наиболее защищенного детектора ДБ-8 удается произвести прогноз суточной динамики накопленных доз с точностью не хуже 25%, а для наименее защищенного - с точностью 32%, что является важным результатом автора. Подобная точность прогноза радиационной обстановки труднодостижима в существующих моделях. Так, дозы, вычисленные по AP8/AE8 могут отличаться в 2-3 раза от реальных для КА с наклоном $\sim 50^\circ$. Более того, процедура вычисления доз с помощью модели AP8 скорее напоминает исследование, чем инженерный расчет (см., например, Rad. Measurements, 1996, v.26, №6, p.947). Поэтому результаты диссертации могут иметь практическое значение для оперативной оценки радиационной обстановки на МКС, так как

предложенная автором методика основывается только на баллистических данных и показаниях СРК, и соответствующие расчеты могут быть проведены непосредственно на борту.

Диссертация написана ясным и понятным языком. Основные положения диссертационной работы подробно объяснены и аргументированы. Необходимые для понимания текста формулы представлены. Таблицы и графики, иллюстрирующие результаты и выводы работы, даны с достаточной полнотой.

По существу представленной работы можно сделать следующие замечания.

Во введении мало внимания, на мой взгляд, уделено спектрометрическим измерениям на КА, хотя, как отмечает сам автор, именно эти измерения послужили основой для большинства моделей радиационной обстановки. Например, в работе даже не упоминается эксперимент АМС-1, проводившийся на орбите станции "Мир", эксперимент SAMPEX, по данным которого разработана одна из моделей РПЗ. В главе довольно подробно описаны современные информационные комплексы для оценки радиационной обстановки на орбитах, но нет сравнений результатов расчетов по этим моделям с экспериментальными данными.

Вариации дозы от РПЗ в 2005-2009гг автор связывает в основном с параметрами орбиты МКС. Между тем известно, что из-за изменения параметров остаточной атмосферы в фазах максимума и минимума солнечной активности, потоки захваченных частиц также претерпевают изменения. Эти вариации нашли свое отражение, например, в модели AP8(MIN/MAX). В диссертации нет достаточного обсуждения этого вопроса.

В четвертой главе важно было бы в явном виде очертить границы применимости разработанной инженерной методики (области высот, условия солнечной активности и т.п.).

Есть несколько замечаний по оформлению работы:

Работа перегружена однотипными рисунками. Например, рисунки 26-34 не содержат никакой новой информации по сравнению с рисунками 35-43. Многие рисунки имеют одинаковые подписи (например, рис. 54 и 58, 55 и 59 и др.) и необходимо искать в тексте, чем они отличаются.

В конце глав отсутствуют выводы, что несколько затрудняет восприятие работы.

Несмотря на отмеченные недостатки, работа выполнена на хорошем научном уровне и заслуживает положительной оценки.

Основные выводы, сделанные в диссертации, представляются, безусловно, достоверными.

Содержание автореферата соответствует диссертации.

Представленная к защите диссертация А.Э. Лишневского соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 «Физика плазмы»

Отзыв составил
к.ф.-м.н, снс НИЯУ МИФИ

В.В. Михайлов

17.04.2014

Подпись В.В. Михайлова удостоверяю

Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ



Михайлова В.В.)