

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 623.454.838

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-72-81

ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

**Александр Сергеевич Ягодкин¹, Валентина Ивановна Анциферова²,
Татьяна Владимировна Скворцова³, Михаил Юрьевич Рытов⁴,
Виталий Александрович Шкаберин⁵**

^{1, 2, 3} Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия

^{4, 5} Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

^{1, 2, 3} aas8026@rambler.ru

^{4, 5} rmy@tu-bryansk.ru

Аннотация. Рассматривается анализ теоретических и практических аспектов влияния ядерных взрывов, проведенных в условиях космического пространства. Исследование начинается с обзора исторических экспериментов, продолжается оценкой технологических, физических и экологических последствий таких взрывов. Особое внимание уделяется эффектам электромагнитного импульса, изменениям в ионосфере и магнитосфере Земли, а также потенциальному воздействию на спутниковые системы и космические аппараты. Рассматриваются ограничения, связанные с использованием ядерного оружия в космосе, и потенциальные сценарии применения таких технологий в будущем для целей национальной обороны и защиты.

Ключевые слова: ядерный взрыв, космическое пространство, ядерное оружие, электромагнитный импульс, спутники, космический мусор

Для цитирования: Ягодкин А.С., Анциферова В.И., Скворцова Т.В., Рытов М.Ю., Шкаберин В.А. Последствия воздействий на искусственные спутники ядерных взрывов в космическом пространстве // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 72-81. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-72-81.

Original article

Open Access Article

CONSEQUENCES OF AFFECTING SPACE NUCLEAR EXPLOSIONS ON ARTIFICIAL SATELLITES

**Alexander S. Yagodkin¹, Valentina I. Antsiferova², Tatyana V. Skvortsova³,
Mikhail Ur. Rytov⁴, Vitaly A. Shkaberin⁵**

^{1, 2, 3} Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

^{4, 5} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

^{1, 2, 3} aas8026@rambler.ru

^{4, 5} rmy@tu-bryansk.ru

Abstract. The article analyzes theoretical and practical aspects of affecting nuclear explosions conducted in outer space. The study begins with a review of historical experiments and continues with assessing the technological, physical, and environmental consequences of such explosions. The paper pays particular attention to the effects of electromagnetic pulses, changes in the Earth's ionosphere and magnetosphere, and the potential impact on satellite systems and spacecraft. The limitations associated with using nuclear weapons in space and potential scenarios for employing such technologies in the future for national defence and protection are considered.

Keywords: nuclear explosion, outer space, nuclear weapons, electromagnetic pulse, satellites, space debris

For citation: Yagodkin A.S., Antsiferova V.I., Skvortsova T.V., Rytov M.Ur., Shkaberin V.A. Consequences of affecting space nuclear explosions on artificial satellites. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 72-81. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-72-81.

Введение

Ядерные взрывы, известные своими разрушительными последствиями на Земле, это феномен, оказывающий значительное влияние и в космическом пространстве. Ядро такого взрыва представляет собой реакцию, при которой атомные ядра расщепляются (ядерный распад) или объединяются (термоядерный синтез), высвобождая при этом колоссальное количество энергии [1, 4...7]. Эта энергия проявляется в виде интенсивного тепла, света, давления, и что особенно значимо для космического пространства, радиации и электромагнитного излучения.

В космическом контексте ядерные взрывы изучались как часть военных и научных программ, начиная с эры холодной войны. Проекты, такие как американский «StarfishPrime» и советский «Космос 954», демонстрировали эффекты ядерных взрывов на значительных высотах и в космосе. Согласно международным договорённостям и опасениям по поводу массового разрушения, такие испытания больше не проводятся.

Несмотря на это, осознание последствий ядерных взрывов в космосе остается актуальным, особенно в свете возрастающего числа спутников и других космических аппаратов. Спутники, играющие ключевую роль в современных коммуникационных, навигационных и наблюдательных системах, особенно уязвимы к подобным воздействиям.

Ключевым фактором, отличающим ядерные взрывы в космосе от земных, является отсутствие атмосферы, которая на Земле поглощает часть излучения и распределяет ударную волну. В космическом пространстве, электромагнитное излучение и частицы радиации распространяются без препятствий, что увеличивает их потенциальное воздействие на космическую технику.

С точки зрения международного права, ядерные испытания в космическом пространстве регулируются рядом договоров и соглашений. Договор о космосе (1967) запрещает размещение ядерного оружия на орбите, на Луне или на других небесных телах. Это делает любые ядерные взрывы в космосе не только опасными с технической точки зрения, но и юридически недопустимыми [2, 3 – 6, 8].

Ядерные взрывы в космическом пространстве

Исследуя предполагаемые последствия ядерного взрыва в космическом пространстве, необходимо учитывать, что такой взрыв представляет собой сложный процесс, состоящий из множества аспектов, начиная от физических явлений, связанных с детонацией ядерного устройства в условиях космического вакуума, до огромных негативных потенциальных последствий как для окружающего космического пространства, так и для Земли.

Во-первых, рассмотрим сам процесс ядерного взрыва [1]. Ядерный взрыв – это быстрое высвобождение огромного количества энергии в результате ядерной реакции, будь то деление (как в атомных бомбах) или синтез (как в водородных бомбах). В условиях космоса, где отсутствует атмосфера, отсутствуют и самые характерные параметры ядерного взрыва – это ударная волна и грибовидное облако. В вакууме, энергия взрыва распространяется в виде излучений: гамма-лучи, рентгеновское излучение, высокоэнергетические частицы.

Основной вид энергии в ядерном взрыве – это тепловое излучение. Тепловая энергия может быть рассчитана по формуле: $E = m \cdot c^2$, где E – энергия, m – масса вещества, участвующего в ядерной реакции, c – скорость света.

Например, если в ядерной реакции участвует 1 кг материала, энергия, которая будет высвобождена, составит около $9 \cdot 10^{16}$ джоулей, что эквивалентно взрыву 21,5 мегатонны в тротиловом эквиваленте.

В космическом пространстве ядерные взрывы могут вызвать различные последствия. Одно из них – это создание искусственных радиационных поясов, подобных Ван Алленовскому радиационному поясу Земли.

Такие пояса образуются из захваченных высокоэнергетических частиц и, как следствие,

они представляют собой угрозу как для космических аппаратов, так и для космонавтов, астронавтов.

Помимо этого, необходимо еще и учитывать эффект электромагнитного импульса (ЭМИ), который возникает при ядерном взрыве. Его последствия в космосе – это серьезное влияние на работу спутников и других космических аппаратов, вызывая сбои в их работе и даже полный выход из строя.

Помимо этого, ядерные взрывы в космосе могут повлиять на окружающие космические объекты. Например, взрыв близко к поверхности Луны или астероида может вызвать выброс материала в космос, что, в свою очередь, может привести к изменению орбиты этих объектов или созданию космического мусора.

Электромагнитный импульс (ЭМИ) и его воздействие на спутники

Электромагнитный импульс (ЭМИ) представляет собой кратковременное, но чрезвычайно интенсивное излучение электромагнитной энергии, которое может возникать при различных условиях, включая атмосферные ядерные взрывы, излучение далекого космоса, солнечные бури или даже как результат специально разработанного электромагнитного оружия. Электромагнитный импульс имеет способность индуцировать высокие напряжения и токи в электронных цепях, что может привести к их повреждению или разрушению. Для спутников, воздействие ЭМИ представляет собой значительную угрозу, поскольку космические аппараты оснащены чувствительной электроникой, которая необходима для их функционирования [1 – 4, 6].

Для понимания механизма воздействия ЭМИ на спутники важно рассмотреть основные аспекты электромагнитной индукции. Согласно закону Фарадея, изменяющееся магнитное поле создает электрическое поле, которое, в свою очередь, может индуцировать токи в проводниках. Формула закона Фарадея выражается как $E = -d\Phi/dt$, где E – электродвижущая сила (ЭДС), Φ – магнитный поток, а dt – изменение времени. В случае ЭМИ, быстрое изменение электромагнитного поля вызывает возникновение значительных ЭДС в электронных компонентах спутников.

Эти индуцированные ЭДС могут превышать нормальные рабочие параметры систем спутника, что приводит к перегрузкам и повреждениям. В частности, микросхемы и полупроводниковые устройства являются наиболее уязвимыми, поскольку они способны выходить из строя при относительно небольших перенапряжениях. Это может вызвать сбои в системах управления, навигации, коммуникации и энергоснабжения спутника.

Кроме того, следует учитывать, что спутники находятся в условиях космического пространства, где они подвергаются воздействию различных форм космического излучения и заряженных частиц, что увеличивает риск воздействия ЭМИ. Например, солнечные бури и выбросы корональной массы могут генерировать интенсивные электромагнитные поля, способные повредить спутники.

Для защиты спутников от эффектов ЭМИ применяются различные методы. Одним из основных является экранирование – использование материалов, способных поглощать или отражать электромагнитные волны, тем самым уменьшая их воздействие на чувствительные компоненты. Также применяются технологии жёсткого программирования и аппаратного обеспечения, устойчивого к радиационным воздействиям.

Радиационное воздействие на спутниковые системы

Радиационное воздействие на спутниковые системы представляет собой значительный вызов, так как оно может привести к сбоям в работе оборудования и даже к его полному выходу из строя. Спутники в космосе подвергаются воздействию различных видов радиации, включая галактические космические лучи, солнечный ветер и высокоэнергетические частицы, захваченные земным магнитным полем.

Влияние радиации на электронные компоненты спутника можно разделить на две

основные категории: постоянное повреждение и временные сбои. Постоянные повреждения обычно вызваны воздействием высокоэнергетических частиц, которые могут вызвать физические изменения в полупроводниковых материалах, например, создание дефектов в кристаллической решетке. Временные сбои, такие как одиночные события (SingleEventEffects, SEE), возникают, когда частица высокой энергии проходит через микроэлектронное устройство, вызывая нежелательные изменения в его работе [9-11].

Ключевым показателем в оценке радиационной устойчивости спутников является полная поглощенная доза (TotalIonizingDose, TID), которая измеряет суммарное количество энергии, поглощенной материалом от ионизирующего излучения. TID измеряется в радах (в системе СИ – в греях) и определяется как $E = D \cdot m$, где E – энергия в джоулях, D – доза в греях, а m – масса поглощающего материала в килограммах.

Устройства, чья работа основана на передаче неосновных носителей заряда, оказываются наиболее уязвимыми к деградации в результате радиационных эффектов структурных повреждений. Их чувствительность связана с изменением времени жизни неосновных носителей заряда при облучении. Поскольку время жизни этих носителей начинает меняться уже при низких уровнях радиационного воздействия, по сравнению с уровнями, при которых происходит снижение концентрации и подвижности основных носителей заряда, такие устройства имеют более низкую радиационную устойчивость. Повреждения структуры первыми ощутят диоды, биполярные транзисторы и биполярные микросхемы. Тогда как диоды Шоттки, полевые транзисторы с различными типами затворов, а также МОП- и КМОП-устройства и микросхемы деградируют в основном из-за эффекта снижения концентрации основных носителей заряда, и поэтому они менее чувствительны к структурным повреждениям.

Устройства в области фотоники и оптоэлектроники, такие как фотодиоды, фототранзисторы, светодиоды, солнечные батареи и изображающие устройства, очень чувствительны к деградации в результате структурных повреждений. Устройства фотоники на основе гетероструктур с нанометровой толщиной слоев оказываются менее уязвимыми к этому виду повреждений. Это относится как к излучающим устройствам, так и к приемным.

Повреждение диодов на основе p-n-перехода. Возникновение структурных дефектов в устройствах этого типа приводит к ряду изменений. Например, уровень прямого напряжения при постоянном рабочем токе меняется, обратный ток увеличивается, а также и пробивное напряжение растет. Одновременно с этим, время восстановления обратного сопротивления уменьшается [7, 9].

Снижение прямого напряжения происходит из-за сокращения времени жизни неосновных носителей заряда, что влечет за собой и снижение напряжения на p-n-переходе. Кроме того, удельное сопротивление базовой области растет из-за уменьшения концентрации основных носителей заряда, что увеличивает напряжение на базовой области. Анализируя влияние облучения, получаем как снижение, так и увеличение прямого напряжения.

Самое значительное влияние радиации зависит от выбранного электрического режима и уровня воздействия. При низких уровнях тока наблюдается снижение прямого напряжения, а при больших токах – напряжение может увеличиваться после облучения.

А вот обратный ток p-n-перехода увеличивается из-за повышения его основных составляющих: диффузионной, генерационной и поверхностной.

В большинстве кремниевых диодов, увеличению обратного тока способствует рост генерационной компоненты, особенно в случае структур с пассивированной поверхностью. Так как, генерационная компонента обратно пропорциональна времени жизни неосновных носителей заряда, то уменьшение их времени жизни при облучении, приводит к увеличению этой составляющей обратного тока.

При радиационном воздействии, напряжение пробоя для диодных структур, обозначенное как $U_{\text{проб}}$, увеличивается. Это происходит из-за повышения удельного сопротивления полупроводникового материала и уменьшения градиента концентрации зарядовых носителей в переходе. Этот эффект становится особенно заметным при высоких уровнях радиационного воздействия, который существенно влияет на концентрацию зарядовых носителей в базовой области диода.

Но замечено, что радиационное облучение может и улучшить один из основных

импульсных параметров диодов, а именно, время восстановления обратного сопротивления, обозначенное как $\tau_{\text{восст}}$. Заметное снижение $\tau_{\text{восст}}$ начинает происходить даже при таких уровнях облучения, которые не вызывают критических изменений в падении напряжения и в повышении обратного тока.

Обычно наблюдается связь между $\tau_{\text{восст}}$ и временем жизни неосновных носителей заряда, которое обозначается как τ , следующим образом: $\tau_{\text{восст}} \approx k \cdot \tau$, где k – коэффициент времени жизни неосновных носителей заряда.

Так как время жизни неосновных носителей заряда уменьшается при облучении, из-за создания радиационных центров, которые являются центрами рекомбинации, то и время восстановления обратного сопротивления также будет снижаться.

Деградация биполярных транзисторов под действием радиации. Как сказано выше, ключевым последствием радиационного облучения биполярных транзисторов является уменьшение коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером, обозначаемого как $h_{21Э}$. Такое понижение сопровождается увеличением различных компонентов базового тока, возникающего из-за ионизационных дозовых эффектов или структурных повреждений [6].

В случае структурных повреждений, наращивание рекомбинационных компонентов базового тока обусловлено появлением радиационных дефектов, которые служат центрами рекомбинации.

В целом, изменение коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ при облучении описывается следующим уравнением:

$$\frac{1}{h_{21ЭФ}} = \frac{1}{h_{21Э0}} + \frac{K_{\text{инт}} \Phi + \Delta\left(\frac{1}{\tau_{s\Phi}}\right)}{2\pi f_T}, \quad (1)$$

где $h_{21Э0}$ (до облучения) и $h_{21ЭФ}$ (после облучения) – значения коэффициента передачи тока до и после облучения; $K_{\text{инт}}$ – интегральный коэффициент, отражающий уменьшение времени жизни в объеме транзистора под воздействием облучения; f_T – предельная частота; Φ – магнитный поток; $\Delta(1/\tau_{s\Phi})$ – изменение поверхностного компонента времени жизни в процессе облучения.

Влияние поверхностных радиационных эффектов определяет изменение компонента $\Delta(1/\tau_{s\Phi})$, которое может быть обусловлено ионизационными процессами. На определенном этапе, эти поверхностные эффекты достигают насыщения, и дальнейшие изменения в $h_{21Э}$, вызванные радиацией, становятся зависимыми от формирования структурных дефектов в объеме полупроводника.

Описанная ситуация может возникнуть при облучении, обладающем слабой ионизирующей способностью, например, при нейтронном облучении. Если изменения в $h_{21Э}$ определяются объемными эффектами, то соотношение $1/h_{21Э}$ и флюенса воздействующих быстрых частиц будет линейной.

Однако при низких уровнях облучения, когда насыщение поверхностных эффектов еще не достигнуто, зависимость $1/h_{21Э}$ от флюенса будет нелинейной [4, 8].

Изменения биполярных микросхем. В биполярных интегральных схемах, ионизационные дозовые эффекты будут более выраженными по сравнению с дискретными устройствами. Это связано с присутствием полевых оксидов, которые влияют не только на функционирование отдельных транзисторов в составе ИС, но и приводят к формированию каналов утечки тока между различными элементами ИС из-за накопления заряда при облучении.

Кроме этого, структурные повреждения также оказывают значительное влияние на деградацию. К примеру, облучение биполярных ИС до одинакового уровня ионизационной дозы гамма-квантами, электронами и протонами приводит к разным уровням деградации, а именно: максимальная деградация наблюдается при облучении протонами, минимальная – при облучении гамма-квантами. Это связано с тем, что протонное облучение часто вызывает структурные повреждения в полупроводниковых кристаллах облучаемых изделий, в то время как гамма-облучение практически не вызывает таких дефектов.

Стоит отметить, что при рассмотрении деградации биполярных транзисторов и биполярных ИС, ионизационные и структурные повреждения обладают аддитивной природой. В частности, изменение $h_{21Э}$ в биполярных транзисторах можно записать следующим образом:

$$\Delta \frac{1}{h_{213}} = (\Delta \frac{1}{h_{213}})_{\text{стр}} + (\Delta \frac{1}{h_{213}})_{\text{ион}}. \quad (2)$$

В этом выражении, элементы справа от равенства отражают изменение h_{213} , вызванное структурными повреждениями и ионизационными эффектами соответственно. По сравнению с уравнением (2), мы можем просто записать следующее:

$$\Delta \left(\frac{1}{h_{213}} \right)_{\text{стр}} = \frac{K_{\text{инт}}}{2\pi f_T}, \quad (3)$$

$$\Delta \left(\frac{1}{h_{213}} \right)_{\text{ион}} = \frac{\Delta(1/\tau_{s\phi})}{2\pi f_T}. \quad (4)$$

Если построить кривые деградации, полученные в результате облучения гамма-квантами (отражающие деградацию из-за ионизационных дозовых эффектов) и нейтронами (отражающие деградацию из-за структурных повреждений), то возможно воссоздать и кривую деградации для любых радиационных условий, представленных в космическом пространстве [5].

Повреждения светоизлучающих диодов (СД). Повреждение светодиодов при радиационном облучении приводит к снижению внутренней и внешней квантовой эффективности. Это явление связано с увеличением роли процесса без излучательной рекомбинации через уровни радиационных дефектов в запрещенной зоне полупроводника. На сегодняшний день существуют три основных конструктивно-технологических типа СД: амфотерно-легированные, диффузионные и светодиоды с двойным гетеропереходом.

Светодиоды, излучающие свет в ближней инфракрасной области, наиболее распространены для применения в космическом пространстве. Обычно эти типы СД создаются либо с использованием амфотерного легирования, либо с использованием гетеропереходов [1, 2].

Среди всех типов светодиодов, наиболее чувствительными к радиационному облучению являются амфотерно-легированные СД. Это связано, в первую очередь, с широкими p - n -переходами, которые формируются в процессе амфотерного легирования. Для эффективной работы таких СД требуется высокое значение времени жизни носителей заряда, чтобы минимизировать вклад без излучательной рекомбинации.

Однако, чем выше исходное значение времени жизни носителей заряда, тем сильнее оно подвержено деградации при радиационном облучении. В то же время, диффузионные СД и СД с двойным гетеропереходом обычно проявляют признаки деградации только при значительно более высоких уровнях радиационного воздействия. Обычно, это те уровни, при которых проявляется эффект снижения концентрации носителей заряда.

Для установления связи между световым выходом и уровнем радиационного воздействия используется следующая формула:

$$\left(\frac{P_0}{P_\phi} \right)^n - 1 = \tau_0 K_t \Phi, \quad (5)$$

где P_0 и P_ϕ – световой выход светодиода до и после облучения с флюенсом Φ ; τ_0 – является начальным временем жизни ННЗ; n – является параметром аппроксимации, который обычно выбирается из диапазона $2/3 \leq n \leq 1$; K_t – коэффициент, обозначающий радиационное изменение времени жизни ННЗ.

В СД степень деградации при радиационном облучении обычно уменьшается с увеличением рабочего тока. Таким образом, максимальную деградацию при облучении обычно вызывает режим с минимальным рабочим током.

Внутренний световой выход СД может частично восстанавливаться, когда через диод проходит рабочий ток после облучения. Этот процесс, известный как «отжиг», наиболее ярко выражен в амфотерно легированных СД. В отличие от этого, для диодов с двойными гетеропереходами такой эффект обычно не характерен.

Проблема космического мусора

Проблема космического мусора, особенно при рассмотрении ядерных взрывов в космосе, представляет собой значительную проблему для космической деятельности. Космический мусор, относится к нефункционирующим искусственным объектам в космическом пространстве, включая отработанные ступени ракет, обломки спутников и фрагменты, образованные в результате столкновений или других деструктивных событий. Ядерные взрывы в космосе могут увеличить эту проблему, поскольку они способны генерировать большое количество дополнительных осколков и фрагментов.

При ядерном взрыве в космическом пространстве, в отличие от взрыва в атмосфере Земли, отсутствует ударная волна, так как нет атмосферы для ее передачи. Однако энергия взрыва все равно распределяется, преимущественно в форме радиационного излучения и высокоэнергетических частиц. Эти частицы и излучение могут взаимодействовать с окружающими космическими объектами, вызывая их физическое разрушение или ухудшение функционального состояния.

Одним из главных последствий ядерного взрыва в космосе является создание большого количества космического мусора. Этот мусор состоит из мелких и крупных фрагментов, которые могут включать остатки самого ядерного устройства, а также обломки разрушенных им космических аппаратов. Эти фрагменты могут оставаться на орбите на протяжении многих лет или даже десятилетий, представляя угрозу для других космических аппаратов, включая спутники и международную космическую станцию.

Рассеяние осколков в космическом пространстве можно описать с помощью кинематических и динамических уравнений. Осколки, получившие достаточную кинетическую энергию, могут покинуть первоначальную орбиту и перемещаться по более сложным траекториям. Их движение можно анализировать, используя уравнения Ньютона и законы Кеплера.

С увеличением количества космического мусора возрастает вероятность столкновений между фрагментами, что может привести к эффекту Кesslera – цепной реакции, при которой столкновения порождают еще больше мусора, дополнительно усугубляя ситуацию.

Ударные волны и тепловое воздействие

В отличие от земных условий, где ударная волна распространяется через атмосферу, в космосе отсутствует среда для передачи ударной волны традиционным способом. Однако это не означает, что спутники находятся в полной безопасности от физических эффектов взрыва. В космическом пространстве, основным механизмом передачи энергии от ядерного взрыва является излучение, такое как интенсивное тепловое и рентгеновское излучение. Это излучение способно нагревать поверхность спутников, что может привести к их термическому повреждению [2 – 4].

Для описания ударных волн используется уравнение Рэля-Плессе:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{2\gamma M^2 - (\gamma - 1)}{\gamma + 1}, \quad (6)$$

где P_2/P_1 – отношение давления после и до ударной волны; γ – адиабатический индекс газа, M – число Маха ударной волны.

Тепловые эффекты особенно опасны для спутников с деликатными оптическими и электронными компонентами, которые могут быть повреждены или разрушены из-за перегрева. Стоит также учитывать, что даже если спутник находится на значительном расстоянии от места взрыва, он все равно может подвергаться воздействию излучения, которое распространяется на большие дистанции в космическом пространстве.

Теплопередача может быть описана законом Фурье для теплопроводности:

$$q = -k\nabla T, \quad (7)$$

где q – плотность теплового потока; k – теплопроводность материала; ∇T – температура градиент.

В случае излучения теплопередача описывается законом Стефана-Больцмана:

$$P = \epsilon \sigma AT^4, \quad (8)$$

где P – мощность излучения; ϵ – излучательная способность поверхности; σ – постоянная Стефана-Больцмана; A – площадь поверхности; T – температура в Кельвинах.

Изменения в орбитальных траекториях

Ядерные взрывы в космическом пространстве могут оказывать влияние на орбитальные траектории космических объектов, в том числе спутников. Это воздействие происходит из-за динамических сил, возникающих в результате взрыва, и изменений в условиях окружающего космического пространства. Когда ядерный взрыв происходит в космосе, он генерирует волну высокоэнергетических частиц и излучения, которая может влиять на движение близлежащих объектов.

Основным фактором, влияющим на орбитальные траектории, является реакция на силы, возникающие в результате взрыва. В зависимости от расстояния и положения относительно взрыва, космические объекты могут испытывать различные уровни воздействия. Например, если взрыв происходит достаточно близко к спутнику, он может испытать непосредственное ускорение или замедление, что приведёт к изменению его орбиты. Это может сделать орбиту более эллиптической или изменить её инклинацию, что потребует коррекции для восстановления первоначальной траектории.

Даже небольшие изменения в орбитальной траектории спутника могут иметь серьёзные последствия. Например, спутники, предназначенные для геостационарной орбиты, должны поддерживать строго определённое положение относительно Земли. Изменение их орбиты может нарушить связь или качество сигнала, что потребует дополнительных ресурсов для восстановления положения.

Кроме того, изменение орбиты может повысить риск столкновения с другими космическими объектами, включая космический мусор, что усугубляет уже существующую проблему безопасности в космическом пространстве. Это особенно актуально в условиях насыщенных орбит, где даже малейшие изменения могут привести к цепной реакции столкновений [5, 8].

Сбои в системах связи и навигации

Ядерные взрывы в космическом пространстве могут вызвать значительные нарушения в системах связи и навигации, которые являются критически важными для современной инфраструктуры и общества. Эти системы включают в себя спутниковую связь, GPS (глобальные навигационные спутниковые системы) и другие спутниковые технологии, обеспечивающие глобальную связь и навигацию. Электромагнитный импульс (ЭМИ), возникающий в результате ядерного взрыва, способен нанести существенный ущерб электронике спутников. Электромагнитный импульс может вызвать кратковременные или долгосрочные перебои в работе спутников, нарушая нормальную передачу данных и сигналов. Например, в системах спутниковой связи могут возникать проблемы с поддержанием стабильного соединения, в результате чего пользователи могут столкнуться с перебоями в доступе к телекоммуникационным услугам. В случае глобальных навигационных спутниковых систем, таких как GPS, воздействие ЭМИ или радиации может привести к неточности или полной потере сигнала. Так как многие критически важные системы, включая транспорт и логистику, аварийные службы и военные операции, зависят от точной спутниковой навигации, последствия таких сбоев могут быть значительными [5, 11].

Заключение

Анализ последствий ядерного взрыва в космическом пространстве для спутников подчеркивает сложность и многообразие угроз, с которыми сталкивается космическая инфраструктура. Эти угрозы охватывают широкий спектр последствий, начиная от непосредственного физического воздействия на спутники и заканчивая долгосрочными изменениями в условиях космической среды. Основными факторами риска являются электромагнитные импульсы, радиационное воздействие, увеличение количества космического мусора, изменения орбитальных траекторий и сбои в системах связи и навигации.

Эти факторы требуют комплексного подхода к разработке и эксплуатации космических аппаратов. Важно учитывать потенциальные риски и разрабатывать защитные механизмы, способные минимизировать возможные повреждения и гарантировать стабильную работу спутников даже в условиях экстремального космического воздействия. Это включает в себя использование радиационно-защитных материалов, разработку надежных электронных компонентов, а также внедрение систем отказоустойчивости.

Кроме технических аспектов, важную роль играет международное сотрудничество и законодательная регуляция космической деятельности. Необходимо разрабатывать и соблюдать международные нормы и соглашения, направленные на предотвращение космических конфликтов и ограничение использования ядерных технологий в космосе. Это обеспечит не только безопасность космических аппаратов, но и защиту глобальной космической инфраструктуры.

Список источников:

1. Любомудров А.А. Теоретические основы физических процессов ядерного взрыва // Учебное пособие. – М.: Физматлит, 2017. – 320 с.
2. Современное состояние элементной базы космического назначения / П.П. Куцко, В.К. Зольников, С.А. Евдокимова [и др.] // Современные аспекты моделирования систем и процессов: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 2021. – С. 264-269.
3. Лазерное моделирование разрушительного воздействия ядерных взрывов на опасные астероиды / Е.Ю. Аристова, А.А. Аушев, В.К. Баранов и др. / Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. – 2020. – Т. 25-2. – С. 16-37.
4. Исследования и математическое моделирование явлений, связанных с развитием и воздействием взрывов: монография / В.А. Андрущенко, Е.Л. Ступицкий, Д.С. Моисеева и др. – Москва, 2020. – 192 с.
5. Методы обеспечения стойкости электронной компонентной базы к одиночным событиям путем резервирования / А.Е. Козюков, В.К. Зольников, С.А. Евдокимова и др. / Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14. – № 1. – С. 10-16.
6. Radiation situation at the “Pirit” peaceful underground nuclear explosion site / Biblin A.M., Khramtsov E.V. et al. // Radiation Hygiene. – 2022. – Т. 15. – № 4. – С. 149-161.
7. Математическое и программное обеспечение для моделирования тепловых процессов внутри твердого многослойного тела / М.Н. Аралов, А.В. Ачкасов и др. // Телекоммуникации. – 2017. – № 3. – С. 13-19.

References:

1. Lyubomudrov A.A. Theoretical Foundations of the Physical Processes of a Nuclear Explosion; 2017.
2. Kutsko P.P., Zolnikov V.K., Evdokimova SA, et al. Current State of the Space Element Base. In: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference on Modern Aspects of Modelling Systems and Processes; Voronezh: 2021. p. 264-269.
3. Aristova E.Y., Aushev A.A., Baranov V.K., Belov I.A., Belkov S.A., Voronin A.Yu., et al. Laser Modelling of the Destructive Effects of Nuclear Explosions on Dangerous Asteroids. Proceedings of the RFNC-VNIIEF. 2020;25-2:16-37.
4. Andrushchenko V.A., Stupitsky E.L., Moiseeva D.S., Motorin A.A., Murashkin I.V. Research and Mathematical Modelling of Phenomena Related to the Development and Impact of Explosions. Moscow; 2020.
5. Kozyukov A.E., Zolnikov V.K., Evdokimova S.A., et al. Methods of Ensuring the Resistance of an Electronic Component Base to Single Events by Redundancy. Modelling of Systems and Processes. 2021;14(1):10-16.
6. Biblin A.M., Khramtsov E.V., Repin V.S., Ivanov S.A., Varfolomeeva K.V., et al. Radiation Situation at the “Pirit” Peaceful Underground Nuclear Explosion Site. Radiation Hygiene. 2022;15(4):149-161.
7. Aralov M.N., Achkasov A.V., Barabanov V.F., Podvalny S.L. Mathematical and Software for Modelling Thermal Processes Inside a Solid Multilayer Body. Telecommunications. 2017;3:13-19.

8. Алешин Д.Б., Новоселов Д.И., Куршанов Ю.В. Анализ информации по развитию систем и средств обнаружения и засечки ядерных взрывов // Актуальные вопросы естествознания. Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. – 2023. – С. 419-422.

9. Разработка математических моделей физических процессов в разнородной многослойной структуре при радиационном воздействии / К.А. Чубур, И.И. Струков, С.А. Евдокимова и др. // Моделирование систем и процессов. – 2002. – Т. 15. – № 1. – С. 43-51.

10. Рытов М.Ю., Лексиков Е.В. Формализация методов анализа рисков информационной безопасности // Вестник БГТУ. – 2013. – № 3. – С. 141-146.

11. Managing the Process of Protection Level Assessment of the Complex Organization and Technical Industrial Enterprises / M.Yu. Rytov, A.P. Gorlov et. al. // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 803 (2017) 012051. P. 6.

Информация об авторах:

Ягодкин Александр Сергеевич

кандидат физико-математических наук, доцент Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова

Анциферова Валентина Ивановна

кандидат технических наук, доцент Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова

Скворцова Татьяна Владимировна

кандидат технических наук, доцент Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова

Рытов Михаил Юрьевич

кандидат технических наук, доцент Брянского государственного технического университета

Шкаберин Виталий Александрович

кандидат технических наук, первый проректор по учебной работе Брянского государственного технического университета

8. Aleshin D.B., Novoselov D.I., Kurshanov Yu.V. Frolova TV, editor. Analysis of Information on the Development of Systems and Means for Detecting and Detecting Nuclear Explosions. In: Proceedings of the 8th All-Russian Scientific and Practical Conference on Topical Issues of Natural Science; Ivanovo: 2023. p. 419-422.

9. Chubur K.A., Strukov I.I., Evdokimova S.A., Belokurov VP, Platonov AD, et al. Development of Mathematical Models of Physical Processes in a Heterogeneous Multilayer Structure Under Radiation Exposure. Modelling of Systems and Processes. 2002;15(1):43-51.

10. Rytov M.Yu., Leksikov E.V. Formalization of Information Security Risk Analysis Methods. Bulletin of BSTU. 2013;3:141-146.

11. Rytov M.Yu., Gorlov A.P., Averchenkov V.I., Eremenko V.I. Managing the Process of Protection Level Assessment of the Complex Organization and Technical Industrial Enterprises. Journal of Physics: Conf. Series; 2017;803(1):012051.

Information about the authors:

Yagodkin Alexander Sergeevich

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Antsiferova Valentina Ivanovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Skvortsova Tatyana Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Rytov Mikhail Yuryevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University

Shkaberin Vitaly Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, First Vice-Rector for Academic Affairs of Bryansk State Technical University

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 17.04.2024; принята к публикации 03.10.2024.

The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 17.04.2024; accepted for publication 03.10.2024.

Рецензент – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.