

## БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНЫХ ВООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ "ТРАЙДЕНТ"

*Джон Р. Харви и Стефан Михаловски*

Случайная детонация или загорание твердого топлива ракеты "Трайидент" или взрывчатого вещества в одной из боеголовок может привести к дисперсии токсичного плутония в населенной области. Мы рассматриваем особенности безопасности ядерного вооружения системы "Трайидент" и оцениваем возможность, стоимость и последствия модификации ядерных боеголовок и ракет, направленной на увеличение безопасности. Мы обнаружили, что влияние этих модификаций на оперативные характеристики системы будет минимальным, в особенности, если в результате выполнения договора СНВ-2 количество боеголовок на ракетах будет уменьшено. Для увеличения безопасности системы "Трайидент" потребуется несколько миллиардов долларов и небольшое количество ядерных испытаний.

Джон Р. Харви - физик, директор научной программы в Центре международной безопасности и контроля над вооружениями Стэнфордского университета. Стефан Михаловски - стажер по науке и дипломатии Американского общества содействия развитию науки (AAAS) в бюро OES Государственного департамента США.

Эта статья была подготовлена и опубликована в более развернутом варианте до того, как Стефан Михаловски перешел в Государственный департамент 1 сентября 1993 года. Изменения начального варианта ограничиваются редакционными сокращениями и не изменяют ее основных положений.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

С окончанием холодной войны проблема безопасности ядерных вооружений приобрела новое значение. Отношение американской общественности к ядерному оружию всегда основывалось на представлении о том, что связанный с ним риск менее опасен, чем отсутствие надежного ядерного сдерживания. С уменьшением опасности ядерной войны могут появиться новые стандарты безопасности. При анализе безопасности национального ядерного арсенала наиболее серьезные проблемы возникают в связи с основным стратегическим оружием Америки - системой "Трайидент".

Система "Трайидент" включает в себя подводные лодки с баллистическими ракетами (ПЛАРБ) класса "Огайо", запускаемые с подводных лодок баллистические ракеты (БРПЛ) типа С-4 и D-5, и головные части (ГЧ) с термоядерными боеголовками типов Mk4/W76 и Mk5/W88. Важность системы "Трайидент" обусловлена ее способностью избежать обнаружения и ее возможностью поражения широкого набора целей.

Возникающие проблемы безопасности связаны с ракетами и боеголовками. В Министерстве энергетики и в Министерстве обороны долго велись обсуждения возможности того, что в результате взрыва ракеты или боеголовки системы "Трайидент", обусловленного аварией или диверсией, токсичный плутоний может выпасть на населенные районы. В самом худшем варианте при ударе или столкновении может произойти небольшой ядерный взрыв с мощностью около нескольких десятков тонн. Наиболее полное открытое исследование этой проблемы было проведено рабочей группой по безопасности ядерного оружия под председательством Сиднея Дрелла, созданной комиссией палаты представителей по вооруженным силам. Рабочая группа отметила необходимость дальнейших исследований для того, чтобы "предоставить данные, на основе которых можно провести надежный анализ того, насколько хорошо система D5/W88 удовлетворяет современным стандартам безопасности, и оценить стоимость и соответствующие временные задержки внедрения рекомендуемых изменений конструкции...".

Разработка системы "Трайидент" проводилась в соответствии с жесткими военными требованиями, подготовленными в разгар холодной войны. Принимаемые решения должны были максимально повысить технические возможности и живучесть при приемлемом снижении безопасности. Возникшие компромиссы были бы другими, если бы могли быть

предвидены современные требования национальной безопасности. В результате этого уровень безопасности системы "Трайидент" ниже того, который можно было бы достичь при использовании современной технологии. Вопрос о том, надо ли модифицировать систему, сложен, и ответ на него зависит от нескольких факторов:

- военной необходимости в системе "Трайидент" в обозримом будущем;
- возможности аварии и ее последствий;
- стоимости направленных на увеличение безопасности модификаций и их влияния на оперативно-технические характеристики;
- других политических приоритетов, включающих сокращение военного бюджета, поддержание остаточных возможностей конструирования и производства ядерного оружия, и международные соглашения по ограничению ядерных испытаний.

В этом исследовании анализируются некоторые технические проблемы, связанные с безопасностью системы "Трайидент", и перечисляются важнейшие вопросы и варианты<sup>1</sup>. Наши усилия были ограничены секретностью, окружающей ядерное оружие и поэтому наши выводы нельзя считать полностью окончательными. Более того, надежного количественного анализа вероятности серьезного инцидента не может сделать никто. Тем не менее, в любой ситуации, включающей малую, но конечную вероятность катастрофического события, можно сравнить опасность со стоимостью уменьшения риска. Мы направили наши усилия на анализ стоимости и временных параметров относящихся к безопасности модификаций системы "Трайидент" и их влияния на оперативно-технические характеристики системы. В частности, наше исследование включает:

- изучение проблем безопасности системы "Трайидент", включая возможность рассеивания плутония или непредусмотренной ядерной детонации при ударе или пожаре;
- разработку вариантов модификации систем С-4 и D-5 для повышения безопасности, включая модификацию ракет, модификацию ядерных боеголовок и головных частей (или использование других ядерных боеголовок), и комбинаций этих вариантов;
- сводку результатов расчетов для определения влияния модификаций для повышения безопасности на дальность ракет, расположение районов патрулирования и длительность патрулирования;
- оценки стоимости и планов-графиков модификаций для повышения безопасности и их влияния на оперативно-технические характеристики системы.

### Программа баллистических ракет американского флота

В табл. 1 показана эволюция программы баллистических ракет американского флота. Достижения последних 30 лет были связаны как с технологическими новинками, так и с изменением требований. Постоянное увеличение дальности ракет в основном было связано со стремлением расширить районы патрулирования ПЛАРБ для противодействия достижениям СССР в противолодочной обороне (ПЛО). Увеличение числа боеголовок было связано с расширением списка целей в СССР, с опасением советской противоракетной обороны и повышенным отношением «стоимость-эффективность» для ракет с разделяющимися боеголовками.

Ракета D-5 кардинально отличается от своих предшественников большой мощностью боеголовок и очень высокой точностью. Она представляет наступательные возможности, которые, впервые в истории программы баллистических ракет американского флота, позволяют поражать защищенные цели, такие, как шахты баллистических ракет и подземные бункеры управления. До появления ракеты D-5 задача сил БРПЛ заключалась в сдерживании атаки противника угрозой возмездия незащищенным целям, таким, как городские и промышленные центры и военные базы. По способности поражения защищенных целей ракета D-5 сравнима с ракетой MX, наиболее современной межконтинентальной баллистической ракетой (МБР) наземного базирования США<sup>2</sup>.

С самого начала противосиловые возможности ракеты D-5 вызвали противоречивые отклики. Противники системы "Трайдент" характеризовали ее как оружие "первого удара", которое ставит под вопрос живучесть (и, следовательно, потенциал возмездия) неподвижных ракет наземного базирования противника. Такая неопределенность может заставить планирующие органы противника принять опасную политику "запуска по оповещению", которая создает слишком сильную зависимость от систем предупреждения и ЭВМ, увеличивая вероятность случайного возникновения ядерной войны. Защитники системы "Трайдент" указывали, что во время войны национальное командование должно иметь возможность использовать точные селективные удары как альтернативу глобального применения всего ядерного арсенала. Угроза части советских шахт могла также стимулировать стабилизирующую эволюцию советских сил в направлении перехода к более живучим легким мобильным МБР с меньшим количеством боеголовок. Более того, неуязвимость

возможность поражения защищенных целей, обладает гораздо большим стабилизирующим воздействием, чем уязвимость (такая, как МБР в шахтах). Кроме того, защитники системы "Трайдент" отметили, что опасность применения БРПЛ в первом ударе преувеличивается, поскольку задержки и трудности связи с большим количеством находящихся в подводном плавании ПЛАРБ затрудняют организацию почти одновременного запуска ракетного боезапаса нескольких подводных лодок.

Противосиловая роль системы "Трайдент" объясняет тот набор требований технического задания, который, как мы объясним ниже, является основной причиной опасений за безопасность этой системы.

#### Конфигурация БРПЛ "Трайдент" и причины появления опасений

Основной проблемой разработки БРПЛ D-5 было выполнение требований по дальности и полезной нагрузке ракеты, которая должна была помещаться в фиксированном объеме пусковой шахты подводной лодки класса "Огайо". Требование к ракете D-5 было таким, что она должна была доставлять восемь тяжелых головных частей Mk5 с боеголовками большой мощности на то же самое расстояние, на которое меньшая ракета C-4 доставляла восемь легких головных частей Mk4 - на 7600 километров<sup>3</sup>. Дальность ракеты определяет размеры районов океана, из которых ПЛАРБ может нанести удары по своим целям. Увеличение районов патрулирования позволяет повысить живучесть по крайней мере в отношении одной формы ПЛО: "прочесывания" района вражескими атакующими подводными лодками или самолетами<sup>4</sup>.

Для выполнения требований по дальности и полезной нагрузке конструкторы фирмы "Локхид" применили тот же подход, что и в ракете C-4. Из-за ограничения длины и объема пусковой шахты в обеих случаях конструкция приняла необычный вид: третья ступень ракеты проходила через центральную область блока разведения головных частей. В этом случае головные части должны были располагаться в кольцевой области вокруг третьей ступени, очень близко к ее твердому топливу. Так называемая конструкция "сквозь палубу" показана на рис. 1 и 2. Напротив, в МБР ВВС США, развернутых в подземных шахтах, нет ограничений по длине, и поэтому в них используется конструкция "чистой палубы", в которой блок разведения размещается над третьей ступенью. В этом случае появляется свобода в размещении ГЧ, которые изолируются от топлива третьей ступени промежуточными конст-

Таблица 1  
Эволюция американских БРПЛ с 1960 года по настоящее время<sup>1</sup>

Ракета	Год	Стартовая масса (кг)	Дальность (км)	Число боеголовок	Мощность боеголовок (кт)	Точность (км)
Поларис А-1	1960	13 100	2 200	1	600	3,7
Поларис А-2	1962	14 800	2 800	1	800	3,7
Поларис А-3	1964	16 200	4 600	3	200	0,9
Посейдон С-3	1971	29 500	4 600	10	40	0,45
Трайдент С-4	1979	32 300	7 600	8	100	0,22 <sup>2</sup>
Трайдент D-5	1989	57 700	7 600	8	100 или 475	0,11 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Некоторые данные, приведенные в этой таблице, взяты из работы D. MacKenzie and G. Spinardi, "The Shaping of Nuclear Weapons System Technology: US Fleet Ballistic Missile Guidance and Navigation: I. From Polaris to Poseidon", Social Studies of Science, v. 10 (1988), p. 440. См. также G. Spinardi, "Why the US Navy Went for Hard-Target Counterforce in Trident II", International Security, v. 15, No. 2, Fall 1990, pp. 147-190. Стартовые массы ракет C-3, C-4 и D-5 взяты из документа "START Treaty Memorandum of Understanding". Мощности боеголовок на ракетах C-3, C-4 и D-5 взяты из документа "Modernizing U.S. Strategic Offensive Forces: The Administration's Program and Alternatives", Congressional Budget Office Washington, DC, Congressional Printing Office, May 1983.

<sup>2</sup> Оценка.

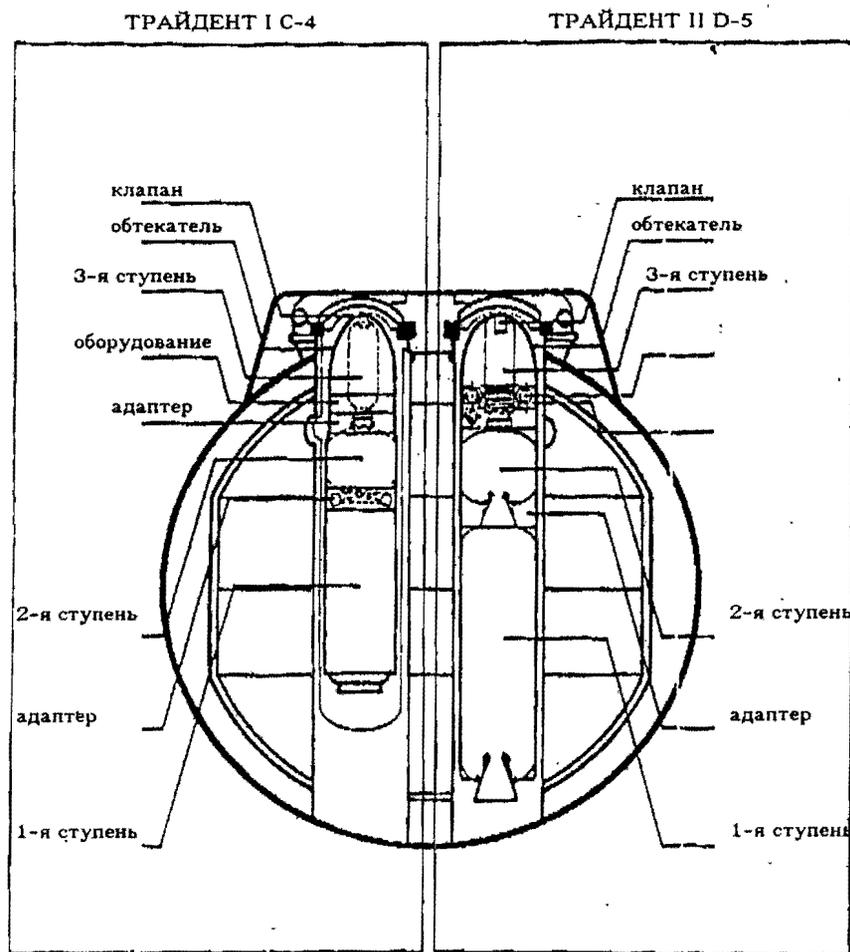


Рисунок 1  
Разрез ПЛАРБ класса "Огайо" с БРПЛ С-4 и D-5.

руктивными и функциональными компонентами.

Для выполнения требований по выбору целей (текущих и ожидаемых) для ракеты D-5 была выбрана боеголовка большой мощности W88, основанная на конструкции, испытанной на полной мощности до вступления в силу Договора 1974 года о пороговой мощности ядерных испытаний. Этот выбор, вместе с фиксированным объемом пусковой шахты лодки класса "Огайо", наложил серьезные дополнительные ограничения. Для выполнения требований по дальности вес головной части должен был быть минимальным. Кроме того, тесная компоновка в кольцевой области вокруг третьей ступени ограничивала диаметр основания ГЧ. По этим причинам в боеголовке W88 было использовано обычное взрывчатое вещество (ВВ), что позволило создать боеголовку меньшего диаметра и веса (по сравнению с той, которая могла быть создана в то время с использованием низкочувствительного взрывчатого вещества (НВВ)). Выбор ВВ обеспечил минимальную массу и диаметр основания при заданной мощности.

Однако, обычное ВВ гораздо более чувствительно к детонации при ударе или пожаре во время аварии. По этой причине в 1983 году Министерство обороны приняло решение использовать в новых боеголовках только НВВ, за исключением тех случаев, когда имеются неотложные военные нужды. Статус такого исключения был получен и для боеголовки W88, поскольку оружейные лаборатории Министерства энергетики не могли выполнить требований Министерства обороны по размерам и массе

ГЧ и по мощности боеголовки, используя боеголовку с НВВ.

Вторая особенность была связана с удельным импульсом твердого топлива ракеты  $I_{sp}$ . Топлива с большим энергосодержанием позволяют достичь большей тяги на единицу объема (или массы), и, следовательно, достичь большей дальности для заданной полезной нагрузки. В ракете D-5 для получения максимальной дальности во всех трех ступенях используется топливо с очень высоким значением  $I_{sp}$ , известное также как топливо "высокой энергии", или топливо класса 1.1. Вероятность детонации топлива класса 1.1 при ударе во время аварии значительно выше, чем у применяющихся во многих МБР топливах класса 1.3, обладающих меньшим энергосодержанием.

Проблемы безопасности, возникающие из-за применения обычного ВВ и твердого топлива класса 1.1, осложняются необычной конструкцией ("сквозь палубу"). Близость ядерных боеголовок к способной детонировать третьей ступени повышает как вероятность, так и опасные последствия потенциальных аварий.

Конфигурация "сквозь палубу" более чувствительна к ударам и пожарам при авариях (по сравнению с конфигурацией "чистой палубы"); эти аварии могут представлять опасность не только для персонала военной базы, но и для населения в целом из-за выброса плутония и его переноса доминирующими ветрами в населенные районы.

Несмотря на то, что стартовая масса ракеты С-4

вдвое меньше, чем у ракеты D-5, и что расположенные на ней боеголовки обладают значительно меньшей мощностью, ее основные опасные особенности такие же, как у ракеты D-5: детонирующее топливо, проходящая через блок разведения третья ступень и обычное ВВ. Поэтому возникающие у ракеты D-5 проблемы безопасности точно такие же, как у ракеты С-4.

Меры по повышению безопасности могут повлиять как на живучесть системы "Трайидент", так и на ее возможности. Применение НВВ в боеголовках может привести к либо уменьшению мощности, либо к увеличению массы, которое повлечет за собой увеличение массы выводимой полезной нагрузки и уменьшение дальности ракеты. Уменьшение дальности сократит область операций ПЛАРБ, из которой доступны основные цели. Замена топлива на недетонируемое в одной или в нескольких ступенях ракеты также приведет к уменьшению дальности и сокращению области патрулирования при заданной полезной нагрузке.

#### Современное и планируемое базирование ПЛАРБ

Когда в июле 1991 года был подписан Договор СНВ-I, в американских силах ПЛАРБ было 36 подводных лодок: 24 подводных лодки класса "Лафайет" с 16 пусковыми шахтами на каждой, и 12 подводных лодок класса "Огайо" с 24 пусковыми шахтами на каждой. Эти силы включали около 6 тысяч ядерных боеголовок (несколько больше половины всех стратегических боеголовок США). На 12 лодках класса "Лафайет" были развернуты БРПЛ "Посейдон С-3" на 10 боеголовок W68, а на остальных лодках этого класса были установлены ракеты С-4 с восемью боеголовками W76. Подводные лодки класса "Лафайет" в настоящее время снимаются с вооружения, и этот процесс должен быть завершен к 1993 году, или, может быть, даже раньше<sup>9</sup>. С июля 1991 года начались испытательные плавания еще одной подводной лодки системы "Трайидент". Выделено финансирование на строительство еще пяти подводных лодок этого класса (примерно по одной в год); стоимость одной подводной лодки составляет около 1,3 миллиарда долларов. В табл. 2 показано

развертывание американских ПЛАРБ на июль 1991 года.

Восемь подводных лодок системы "Трайидент" осуществляют регулярное патрулирование со своей базы в Силвердейле, штат Вашингтон. Еще пять подводных лодок на базе в Кингс Бэй, штат Джорджия, оборудованы новыми ракетами D-5, часть которых оснащена боеголовками W76, а остальные - боеголовками W88<sup>9</sup>.

Согласно договору СНВ-I, количество стратегических ядерных боеголовок, установленных на МБР и БРПЛ, не должно превышать 4900. Если все подводные лодки "Лафайет" будут сняты с вооружения согласно плану, то в конце 90-х годов американские силы ПЛАРБ будут состоять из 18 подводных лодок системы "Трайидент". Если на них будут установлены 3456 боеголовок (8 боеголовок на каждой из 24 ракет 18 подводных лодок), то, согласно договору СНВ-I, на ракеты МХ и "Минитмен III" останется около 1500 боеголовок.

Если недавно подписанный договор СНВ-II будет ратифицирован и вступит в силу, то к 2003 году (или несколько раньше) обе стороны должны будут уничтожить все МБР с разделяющимися боеголовками, включая ракеты МХ и "тяжелые" ракеты SS-18. Они должны уменьшить реальное (а не "расчетное") количество боеголовок до менее чем 3500 с отдельным ограничением в 1750 боеголовок на БРПЛ. Таким образом, общее количество стратегических боеголовок должно сократиться примерно до одной трети от предусмотренного договором СНВ-I, а боеголовки на БРПЛ будут составлять примерно половину от общего количества американских боеголовок. Как мы покажем в разделе IV, снижение количества боеголовок на ракете может быть использовано для повышения безопасности без уменьшения дальности, или ухудшения каких-либо других оперативно-технических характеристик.

#### Стратегическое значение системы "Трайидент"

Завершение холодной войны привело к коренным изменениям в составе ядерных арсеналов сверхдержав и в числе стратегических ядерных боеголовок. Договор СНВ-I, готовившийся на протяжении

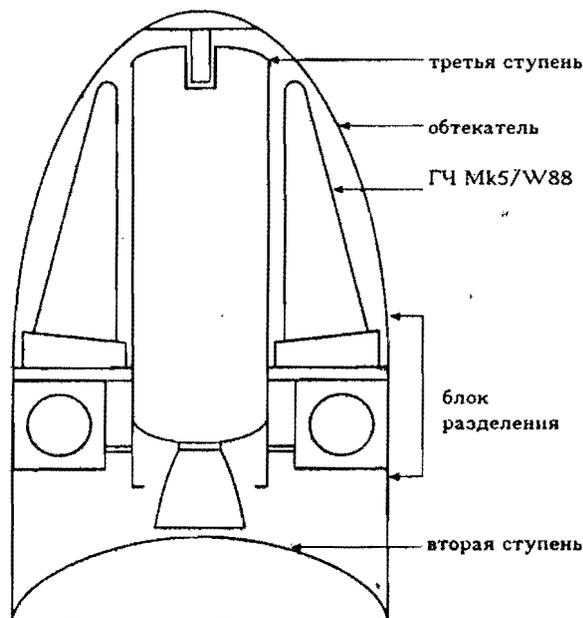


Рисунок 2  
Конфигурация третьей ступени D-5 ("сквозь палубу").

Таблица 2  
Развертывание БРПЛ и ГЧ американского флота на июль 1991 года  
(по документу START Treaty Memorandum of Understanding)

Количество ПЛАРБ	Количество пусковых шахт	БРПЛ	Число и тип ГЧ	Общее количество ГЧ
12 класса "Лафайет"	16	C-3	10 Mk3/W68	1 920
12 класса "Лафайет"	16	C-4	8 Mk4/W76	1 536
8 класса "Огайо"	24	C-4	8 Mk4/W76	1 536
2 класса "Огайо"	24	D-5	8 Mk4/W76	384
2 класса "Огайо"	24	D-5	8 Mk5/W88	384
				5 760

последнего десятилетия, предусматривает разовое сокращение количества стратегических ядерных вооружений на 20 - 30 процентов. Еще более серьезные инициативы были предложены президентами Бушем, Горбачевым и Ельциным. В сентябре и октябре 1991 года Буш и Горбачев предприняли односторонние, но взаимно обусловленные действия в направлении:

- снять с вооружения, а в некоторых случаях и ликвидировать определенные виды тактических ядерных вооружений;

- сократить количество стратегических ядерных боеголовок в большей степени, чем это предусмотрено договором СНВ-I, и прекратить некоторые программы модернизации;

- понизить уровень готовности и боевой тревоги на некоторых из оставшихся видов стратегических вооружений<sup>8</sup>.

В январе 1993 года, всего лишь через полтора года после подписания договора СНВ-I, Буш и Ельцин согласовали договор СНВ-II.

За последние пять лет американские стратегические силы драматически изменились. Ракеты Минитмен-II сняты с боевой готовности и начинают сниматься с вооружения; закупки ракет MX для летных испытаний уменьшены на одну треть, а программы разработки железнодорожного базирования ракет MX, базирования малых МБР и программа разработки малых МБР прекращены вообще. Такие же потери понесла программа стратегической авиации; например, стратегические бомбардировщики были сняты с боевого дежурства на взлетной полосе. Некоторые элементы системы стратегического командования и раннего оповещения были частично отключены.

Общее сокращение стратегических сил коснулось и программы баллистических ракет флота<sup>9</sup>. Под давлением бюджетного дефицита Министерство обороны и Конгресс начали изучать варианты сокращения развертывания и боевого дежурства системы "Трайидент", превышающие обязательства договоров СНВ-I и СНВ-II<sup>10</sup>. Несмотря на это, основные элементы программы модернизации "Трайидент" затронуты не были. Получено финансирование на все запланированные флотом 18 подводных лодок, их строительство ведется по плану, и ведется производство ракет D-5 для оснащения десяти подводных лодок, базирующихся в Кингз Бэй, штат Джорджия.

По договору СНВ-II, в систему "Трайидент" должно быть включено около половины американских стратегических боеголовок. Поэтому их относительная важность будет возрастать по мере уменьшения общего числа боеголовок и степени боевой готовности<sup>11</sup>. Еще более важно, что находящиеся в плавании подводные лодки системы "Трайидент" представляют собой единственный постоянно находящийся в боевой готовности элемент стратегических сил США, который может уделить при атаке, оповещение о которой не поступило, или не было вовремя отработано. Несмотря на то, что риск внезапной атаки невелик (и был не очень велик даже в разгаре холодной войны), США затрачивают миллиарды дол-

ларов на то, чтобы поддерживать элемент стратегических сил, способный противостоять такой угрозе. Ввиду снятия тяжелых бомбардировщиков с боевого дежурства и с существенным уменьшением роли МБР в случае ратификации и выполнения договора СНВ-II, способность системы "Трайидент" сохранять живучесть при любой возможной угрозе приобретает особое значение.

## II. ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ БРПЛ И БОЕГОЛОВОК

В этом разделе мы рассмотрим проблемы безопасности ракет "Трайидент" C-4 и D-5. Сначала мы рассмотрим опасность, связанную с взрывчатыми веществами и твердым топливом баллистических ракет. Затем мы обсудим последовательность действий по обращению с боеголовками и ракетами и выявим потенциально возможные нештатные ситуации. И, наконец, мы изучим последствия нештатных ситуаций.

### Сравнение взрывчатых веществ и твердых ракетных топлив

В последние годы техническая политика США предусматривает применение нечувствительных взрывчатых веществ (НВВ) в современных ядерных боеголовках для того, чтобы увеличить безопасность производства, перевозки и обращения<sup>12</sup>. В табл. 3 показаны тенденции использования взрывчатых веществ и топлив в американских ракетах, разделенных на три группы: МБР, БРПЛ и прочие. В каждой группе ракеты перечисляются в хронологическом порядке. Тенденция в группах МБР и прочих ракет очевидно иллюстрирует переход к НВВ в новых ядерных боеголовках. Однако, в БРПЛ флота продолжают использовать обычное ВВ и детонирующие твердые топлива.

Энергетическое содержание ВВ на 40 процентов выше, чем у НВВ, и поэтому для получения заданной мощности взрыва в конструкции ядерного боеприпаса может быть использовано меньшее количество взрывчатого вещества. Применение ВВ позволяет создать более компактные первичные компоненты меньшего размера и соответственно повысить отношение мощности заряда к его массе. Однако, ВВ более чувствительно к детонации при аномальных условиях по ударам, давлению и температуре. Напротив, НВВ весьма нечувствительно к случайной детонации. В табл. 4 приведено сравнение ВВ и НВВ по ряду параметров функциональной и детонационной способности.

В баллистических ракетах используются твердые топлива двух типов: класса 1.1 и класса 1.3. Энергетическое содержание топлива класса 1.1 больше, чем у топлива класса 1.3, так что при заданном весе дальность ракеты с топливом класса 1.1 будет больше. Согласно последним исследованиям ВМС США, топливо класса 1.1 обладает лучшими технологическими свойствами, повышенной механической прочностью, устойчиво к растрескиванию

Таблица 3  
Типы ВВ в боеголовках и ракетных топливах в американских ракетных системах

Ракета	Боеголовка	Топливо	ВВ
МБР			
Титан II	W53	недетонирующее <sup>1</sup>	ВВ
MM I	W56	детонирующее	ВВ
MM II	W62	детонирующее	ВВ
MM III	W78	недетонирующее	ВВ
MX	W87	детонирующее <sup>2</sup>	НВВ
Малая МБР	W87-1	детонирующее	НВВ
БРПЛ			
Поларис	W58	детонирующее	ВВ
Посейдон С-3	W68	детонирующее	ВВ
Трайидент С-4	W76	детонирующее	ВВ
Трайидент D-5	W88	детонирующее	ВВ
Прочие			
Терьер	W45	детонирующее	ВВ
Першинг I	W50	недетонирующее	ВВ
SUBROC	W55	недетонирующее	ВВ
SRAM A	W69	недетонирующее	ВВ
Лэнс	W70	недетонирующее	ВВ
Спартан	W71	недетонирующее	ВВ
SLCM	W80-0	недетонирующее <sup>1</sup>	НВВ
ALCM	W80-1	недетонирующее <sup>1</sup>	НВВ
GLCM	W84	недетонирующее <sup>1</sup>	НВВ
Першинг II	W85	недетонирующее	НВВ
SRAM II	W89	недетонирующее	НВВ

<sup>1</sup> В ракете "Титан II" применяется жидкое недетонирующее топливо; в крылатых ракетах SLCM, ALCM и GLCM применяется недетонирующее топливо для реактивных самолетов.  
<sup>2</sup> Детонирующее топливо используется только в третьей ступени ракеты MX; на двух первых ступенях применяется недетонирующее топливо.

и образованию зерен; таким образом, оно менее восприимчиво к случайному зажиганию<sup>13,14</sup>. Тем не менее, топлива класса 1.1 гораздо более подвержены детонации. Как видно из табл. 4, топлива класса 1.1 (а не класса 1.3) наиболее близки по чувствительности к детонации к обычному ВВ.

Детонация в ВВ или ракетном топливе с высоким энергосодержанием инициируется при внешнем воздействии, создающем достаточно высокую температуру и давление для начала быстрой химической реакции, распространяющейся в веществе в самоподдерживающейся ударной волне и высвобождающей большое количество энергии<sup>15</sup>. Существует три режима возникновения детонации. В первом режиме внешняя ударная волна с давлением, превышающем пороговое (различное для каждого вещества), может передать энергию, достаточную для непосредственного инициирования детонации ударной волной. Этот прямой процесс, называемый переходом от ударной волны к детонации (SDT), происходит быстро, в течение микросекунд с момента прихода начальной ударной волны. Второй режим, при котором давление в ударной волне значительно ниже порогового для режима SDT, называют "задержанной детонацией", или XDT (из-за того, что он происходит в течение нескольких миллисекунд после прихода начальной ударной волны); этот процесс до сих пор полностью не понят. Он может происходить в результате слияния ударных волн, отраженных от неоднородностей вещества или внутренних поверхностей. Параметры распространения отраженных ударных волн, состав и конфигурация вещества (например, размеры зерен топлива) - это факторы, делающие процесс XDT весьма непредсказуемым. Ниже порога режимов SDT и XDT взрывчатое вещество может быстро гореть, что приведет к постепенному повышению давления, и, в конце концов, к детонации. Третий процесс, известный как переход от дефлаграции к детонации (DDT), сильно зависит от физического окружения вещества, от его зернистой структуры и от внешнего давления. Ха-

ктерное время процесса DDT может измеряться секундами<sup>16,17</sup>.

#### Обслуживание боеголовок и ракет

Для того, чтобы понять природу возможных инцидентов, необходимо рассмотреть последовательность операций по обслуживанию боеголовок, проводящихся Министерством энергетики, и последующих операций по обслуживанию и перевозке, проводящихся флотом. Ядерные боеголовки собираются на заводе Министерства энергетики "Пантекс" в Амарильо, штат Техас. Компоненты поставляются из нескольких организаций. В прошлом плутониевые компоненты производились на заводе Роки Флэтс в штате Колорадо<sup>18</sup>. Термоядерные вторичные компоненты производятся на заводе Y-12 в Оук-Ридже, штат Теннесси. Интегрированная система взрывателей и электроники оружия (WES) производится на заводе "Бендикс" в Канзас-Сити. Головные части Mk4 и Mk5 и связанная с ними материальная часть поставляются на завод "Пантекс" изготовителями головных частей. На рис. 3 показано расположение основных заводов-производителей боеголовок, головных частей и ракет. На рис. 4 показан цикл операций по обслуживанию боеголовок ракет С-4.

Вероятно, самые опасные операции на заводе "Пантекс" - это обработка деталей из ВВ до необходимых размеров и их установка в первичный компонент. В прошлом с этими операциями были связаны несчастные случаи со смертельным исходом. Операции механической обработки обычных ВВ должны проводиться дистанционно, что приводит к увеличению стоимости и усложнению организации производства. Однако, детали из НВВ могут обрабатываться при непосредственном контакте работающего на станке с взрывчатым материалом, что позволяет значительно уменьшить время, затраты и площади производственных помещений. Обработка взрывчатых веществ производится без контакта с плутонием. Опасность рассеяния плутония возникает только

Таблица 4  
Сравнение ВВ и НВВ, и твердых топлив классов 1.1 и 1.3<sup>1</sup>

Параметр	Единицы измерения	ВВ	Класс 1.1	НВВ	Класс 1.3 <sup>2</sup>
Критический диаметр <sup>3</sup>	см	около 0,2	около 0,2	1,2	более 75
Минимальный детонирующий заряд <sup>4</sup>	г	около 0,03	около 0,03	более 120	более 10 <sup>4</sup>
Ударное давление для детонации	кбар	около 20	около 30	около 90	см. пр. 2
Скорость удара для детонации	м/сек	около 45	около 60	около 10 <sup>3</sup>	-
Удельная теплота детонации	ккал/г	1,42	-	1,02	-
Давление на фронте детонации (давление Чепмена-Жуге) <sup>5</sup>	кбар	370	350	300	20 - 80
Удельный импульс	сек	-	272	-	262

<sup>1</sup> Таблица и примечание подготовлены при помощи Эда Ли и Эда Джеймса (частное сообщение). См. также "Notes From Lectures on Detonation Physics", ed. by Frank J. Zerill, Dahlgren, Virginia, Naval Surface Weapons Center, October 1981.

<sup>2</sup> Данные по топливам класса 1.3 неопределенны из-за недостатка экспериментальных результатов и неполного теоретического понимания происходящих процессов. Эти топлива часто называют недетонирующими, но при определенных условиях детонация в них все-таки возможна. Однако, "детонация" в таких материалах распространяется со скоростью, ненамного превышающей скорость звука (намного медленнее теоретических предсказаний), давления в ударной волне также намного ниже теоретических, что усложняет определение критического диаметра. В проведенном в 1967 эксперименте Софи обнаружил, что заряд тротила в 8 тонн инициировал стационарную детонацию в ракетном двигателе с топливом класса 1.3 диаметром 183 сантиметра с центральным каналом диаметром 30 сантиметров, помещенном в тонкостенный корпус. При уменьшении диаметра двигателя до 157 сантиметров стационарной детонации не наблюдалось; более того, после проведения эксперимента остались куски непрореагировавшего топлива. С большими размерами образцов экспериментов не проводилось. Для сравнения можно отметить, что масса минимального детонирующего заряда для топлива класса 1.3 составляет около 30 миллиграммов, или на 10 порядков величины меньше, чем для зарядов в эксперименте Софи. Оценки скорости и давления детонации в топливах класса 1.3 вообще говоря, зависят от состава, но обычно близки к 3,2 мм/мксек и 40 кбар по сравнению с 6 мм/мксек и 350 кбар для топлива класса 1.1.

<sup>3</sup> Критический диаметр - это минимальный диаметр цилиндрического заряда, в котором возможно стационарное распространение волны детонации.

<sup>4</sup> Масса минимального детонирующего заряда - это минимальная масса взрывчатого вещества цилиндрической формы с диаметром основания, большим критического, в котором возможно стационарная детонация.

<sup>5</sup> Давление Чепмена-Жуге - это давление в стационарной ударной волне детонации; эта величина является характеристикой конкретного взрывчатого вещества.

гогда, когда начинается сборка деталей из ВВ с плутониевыми компонентами. Процедуры безопасности для хранения и обращения с боеголовками с обычным ВВ намного более строги и ограничивающи, чем для боеголовок с НВВ.

Собранные головные части с боеголовками перевозятся с завода "Пантекс" на одну из баз систе-

мы "Трайидент" в Силвердейле, штат Вашингтон (SWFPAC), или в Кингс Бэй, штат Джорджия (SWFLANT) на "безопасных и охраняемых" грузовиках (SST) Министерства энергетики<sup>19</sup>. Транспортный контейнер защищает головную часть от ударов и огня из стрелкового оружия малого калибра. Головная часть передается флоту в отделении прием-

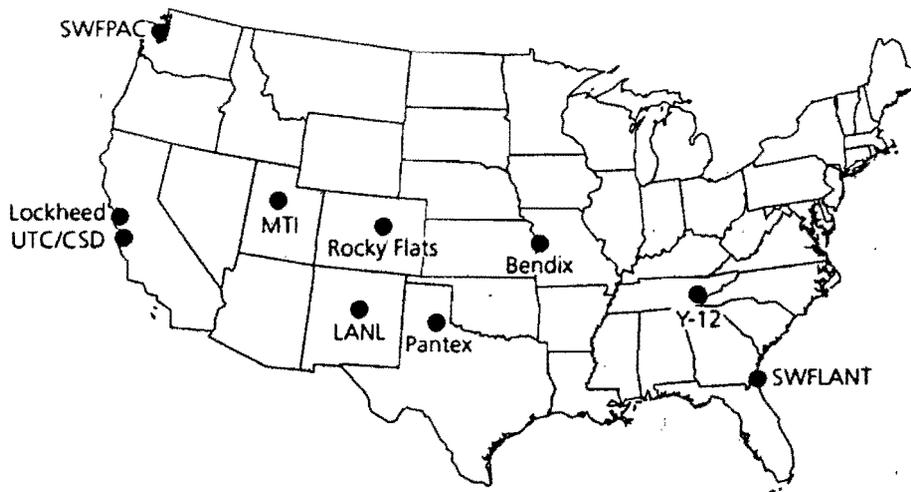


Рисунок 3  
Организации, связанные с обслуживанием DK/Mk5/W88

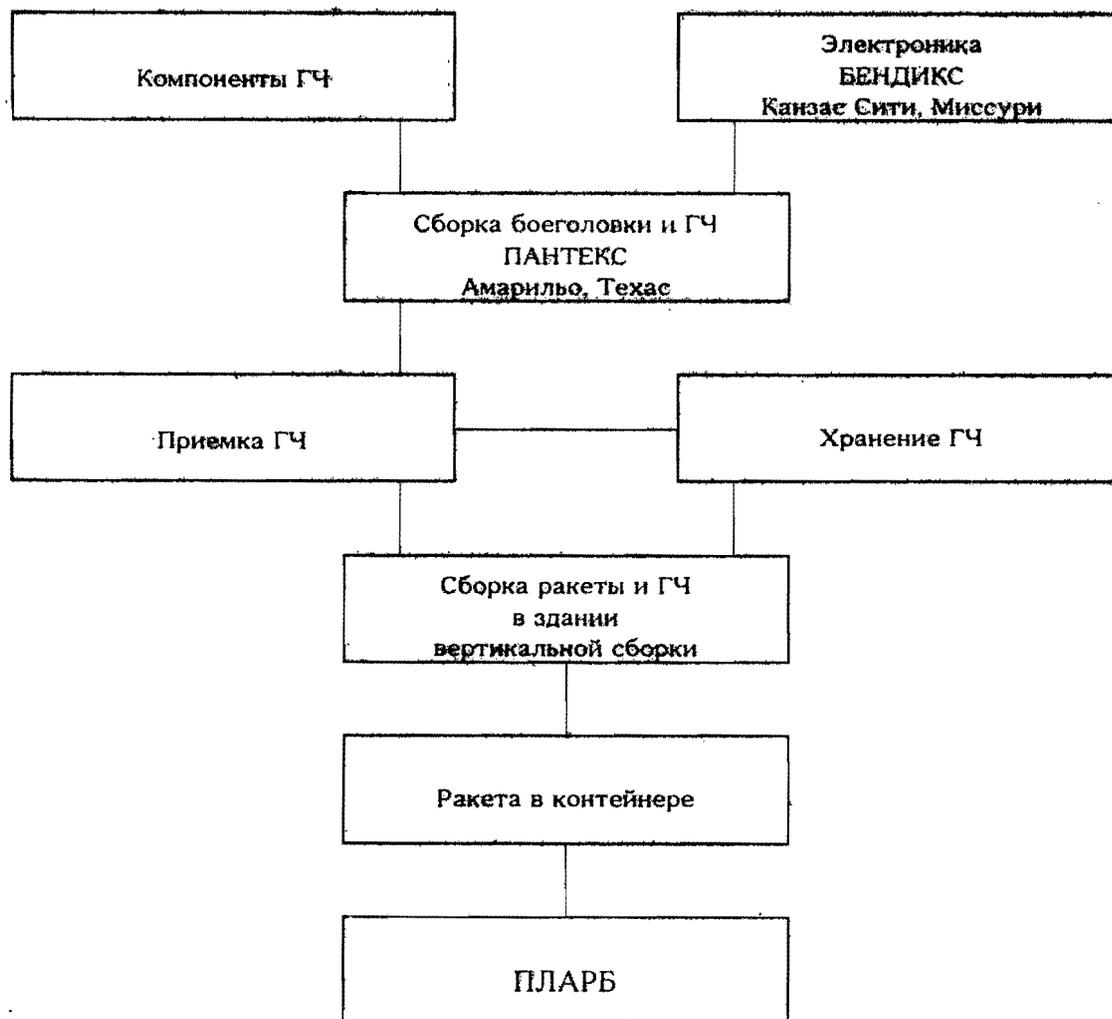


Рисунок 4  
Последовательность операций обслуживания БРПЛ С-4

ки боеголовок на каждой базе. После поступления на базу головная часть хранится на складе в транспортном контейнере.

В настоящее время ракета С-4 собирается из ступеней, блока разведения, головных частей и носового обтекателя в одном здании, называемом "зданием вертикальной сборки ракет (УМРВ)". Стыковка двух первых ступеней проводится в горизонтальном положении. После этого ракета поднимается в вертикальное положение и опускается в контейнер, расположенный в "колодце загрузки" до тех пор, пока он не сравняется с уровнем пола. Контейнер защищает ракету от окружающей среды, скрывает ее от посторонних глаз во время операций по загрузке и обеспечивает некоторую защиту от огня из стрелкового оружия малого калибра. После этого производится установка третьей ступени и блока разведения. Вслед за этим головные части перевозятся со склада в здание сборки, пристыковываются

к блоку разведения и закрываются носовым обтекателем. Собранная ракета в контейнере поднимается из колодца, погружается на транспортер и переводится в горизонтальное положение. После этого ракета в контейнере или хранится на складе, или перевозится на причал обращения со взрывчатыми веществами, к которому пришвартована подводная лодка "Трайидент". На причале ракета в контейнере поднимается в вертикальное положение, поднимается краном над подводной лодкой и опускается в пусковую шахту без контейнера. После установки ракеты в шахту контейнер убирается и люк пусковой шахты запирается.

Процедура обслуживания ракет D-5 иная. В соответствии с рекомендациями рабочей группы Дрелла при обслуживании системы D-5 ракеты и головные части транспортируются отдельно. В этом случае над открытой пусковой шахтой, в которой находится ракета, устанавливается специальный

отсек "обслуживания головных частей", снимается носовой обтекатель, и поочередно устанавливаются головные части. Головные части транспортируются со склада в отсек обслуживания в бронированных контейнерах. ВМС США проводят в настоящее время исследования возможного при таком подходе понижения уровня опасности операций по обращению с головными частями и ракетами. Поскольку конфигурации ракет С-4 и D-5 очень похожи, можно ожидать, что рано или поздно флот внедрит одинаковые процедуры обращения с обеими системами.

Головные части ракет С-4 и D-5 могут монтироваться, демонтироваться и обслуживаться на месте без подъема ракеты из пусковой шахты. Отсек обслуживания устанавливается на пусковой шахте, ее люк открывается, снимается носовой обтекатель, после чего проводятся необходимые операции. Отсек обслуживания скрывает операции с головными частями от посторонних глаз.

Ракеты и боеголовки могут сниматься с подводной лодки для проведения планового ремонта или перезагрузки. Через каждые несколько лет боеголовки снимаются для планового обслуживания (чаще всего связанного с дозаправкой тритием). Большую часть времени боеголовки находятся в распоряжении флота при хранении в транспортных контейнерах или при размещении на борту подводной лодки. Операции по обработке, обслуживанию, проверке или перевозке внутри ограниченного пространства занимают очень малую часть времени жизни боеголовки (не более нескольких десятых долей процента). Снятые с вооружения боеголовки возвращаются на завод "Пантекс" для хранения или демонтажа.

#### Природа потенциальных аварийных ситуаций

Определить вероятность рассеяния плутония, или даже небольшого ядерного взрыва, в результате аварийной ситуации, связанной с аномальным воздействием ударов, столкновений, повышения температуры или электростатического разряда. Более того, результаты анализа аварийных ситуаций малой вероятности всегда могут быть поставлены под сомнение. Некоторые расчеты вероятности однозначны, но другие неоднозначны и неполны. Так, например, можно точно оценить вероятность того, что при погрузке ракеты сломается крюк крана. Однако, совершенно невозможно рассчитать вероятность того, что кто-то сможет целенаправленно и остроумно преодолеть процедуры безопасности флота и устроить диверсию во время обычных операций с ракетами. К сожалению, цитируемые экспертами вероятности в основном отражают те факторы, которые могут быть рассчитаны, и игнорируют неизвестные.

Мы знаем, что в течение 45 лет операций с ядерным оружием в США не было ни одного инцидента, сопровождавшегося ядерным взрывом даже очень малой мощности. С 1968 года, когда стратегическое командование ВВС прекратило боевое дежурство бомбардировщиков с ядерным оружием на борту в воздухе, не было известных инцидентов, сопровождавшихся рассеянием плутония<sup>20</sup>. Открытые данные показывают, что на флоте никогда не было инцидентов с ядерным оружием или с баллистическими ракетами, которые приводили к рассеянию плутония<sup>21</sup>. По все меркам такое достижение следует считать выдающимся. Тем не менее, анализ безопасности является непрерывным процессом, продолжающимся на всем протяжении существования системы оружия, и он только выигрывает от независимой проверки и конструктивной критики<sup>22</sup>.

При авариях с ядерными реакторами, ядерным оружием и ядерными отходами социальный и политический аспекты общественного отклика, скорее всего, будут значительно важнее, чем любые прямые

потери от самой аварии<sup>23</sup>. Очевидной демонстрацией этого можно считать аварию на атомной электростанции "Тримайл Айленд", которая вызвала очень бурный отклик, несмотря на то, что от этой аварии непосредственно не пострадал ни один человек. Авария с ядерным оружием, даже если она будет ограничена территорией базы системы "Трайидент" и приведет к нескольким повреждениям или смертельным случаям среди военного персонала, скорее всего, будет сопровождаться такой же реакцией, которая значительно усилится в том случае, если произойдет выброс радиоактивных материалов за пределы территории базы. Военные планирующие органы должны учитывать то обстоятельство, что при аварии с рассеянием плутония на базах SWFLANT или SWFLANT, операции системы "Трайидент" будут либо прекращены на длительное время, либо вообще ликвидированы.

Из-за связи с национальной безопасностью мы должны рассматривать не только сценарии тех аварий, которые представляются весьма маловероятными, но и тех, которые могут не представлять серьезной опасности для здоровья населения. Мы будем проводить различие между авариями, которые могут представлять заметный риск только для военного персонала (служба которого, вообще говоря, может быть довольно опасной), и теми, которые могут представлять некоторую, хотя бы и малую, опасность для населения. Мы не будем проводить детальной оценки риска для операций обслуживания системы "Трайидент", что выходит за пределы нашей работы, но вместо этого мы рассмотрим те сценарии, в которых боеголовки БРПЛ могут попасть под воздействие аномальных внешних условий, которые могут привести к угрозе здоровью населению, и обсудить стоимость и оперативные последствия действий по уменьшению этого риска.

Здесь мы рассмотрим вкратце возможные, хотя и маловероятные, сценарии аварий с ядерными боеголовками и ракетами "Трайидент", а затем перейдем к более детальному обсуждению трех вариантов.

На заводе "Пантекс" может произойти детонация ВВ во время его механической обработки. На этой стадии риск рассеяния плутония отсутствует, поскольку ВВ не находится в контакте с плутонием. Во время сборки, обращения и транспортировки боеголовок изделие с ВВ могут уронить или ударить при столкновении, что в принципе может вызвать инициированную ударом детонацию в одной точке, или, при меньшей силе удара, воспламенение ВВ. Боеголовки могут подвергнуться также пламени горячего при авариях на транспорте. Детонация или пожар могут представлять непосредственную опасность для расположенного вблизи персонала и могут также привести к рассеянию плутония в окружающей местности. Для боеголовок с НВВ такой риск будет меньшим.

При перевозке головных частей с завода "Пантекс" на базы системы "Трайидент" могут произойти дорожные аварии. После того, как головные части перейдут в ведение флота, возникнут дополнительные сценарии возникновения аварийных ситуаций. Кроме ударов и пожаров, в которые могут попасть отдельные боеголовки, последовательность обслуживания теперь будет включать операции, при которых головные части будут находиться в тесном контакте с десятками тонн ВВ в форме твердого ракетного топлива класса 1.1. Операции включающие установку и снятие ГЧ, сборку ракет, последующее хранение, перевозку и обслуживание ракет, нахождение ракет на борту подводной лодки в порту, создают потенциальную опасность аварий, связанных с пожаром или детонацией ракеты. Падение ракеты или авария самолета (случайная или преднамеренная) в ограниченной области может привести к локальному повышению давления или температуры, достаточному для воспламенения или детонации

ракеты. Кроме того, имеется возможность саботажа; например, головные части или ракеты могут попасть под огонь группы террористов из тяжелого оружия во время перевозки на погрузочный причал<sup>24</sup>.

Детонация ракеты-носителя в пусковой шахте находящейся в порту подводной лодки станет катастрофой. Возможным результатом может стать цепная реакция детонаций всех находящихся на борту 24 ракет. В дополнение к большому выбросу плутония может быть разрушена активная зона реактора и выброшено его сильно радиоактивное содержимое. Последствия такого выброса для здоровья населения могут оказаться еще худшими, чем при выбросе плутония. Такая авария с практически полной определенностью приведет к длительной остановке или полному прекращению программы "Трайидент".

И, наконец, в принципе возможны аварии в прибрежных водах при выходе подводной лодки из базы. Столкновение подводной лодки "Трайидент" с крупным кораблем в узком канале может привести к пожару или детонации, сопровождающимся выбросом плутония в вездых в районе Сизэтта или Джексонвилла. Авария в открытом море может привести к рассеянию плутония, так же, как и к потере подводной лодки и ее команды<sup>25</sup>. Вероятность угрозы здоровья населения при такой аварии менее вероятно и поэтому после нее управлять политической ситуацией будет проще, чем при аварии в порту или в прибрежных водах.

Учитывая, что мы имеем дело с событиями весьма малой вероятности, мы рассмотрим более детально три отдельных класса аварий.

**Детонация ракеты-носителя БРПЛ.** Самая серьезная авария может заключаться в детонации ракеты-носителя, сопровождающейся детонацией взрывчатого вещества боеголовки. При этом плутониевому компоненту будет быстро передана энергия, которая, согласно некоторым оценкам, будет достаточна для преобразования более чем 10 процентов плутония боеголовки во вдыхаемую пыль микронного размера, которая, как будет вкратце описано, представляет наибольшую опасность<sup>26</sup>. Ветры преимущественного направления могут перенести некоторое количество аэрозоля на несколько десятков километров, возможно, на густо населенные районы.

Конфигурация ракеты влияет на количество и размер частиц плутония, которые могут высвободиться при аварии. Полезно сравнить детонацию ракеты с топливом класса 1.1 с конструкцией "чистой палубы" и "сквозь палубу". В последнем случае на боеголовки будут действовать сравнительно сильные ударные волны от высокоскоростных ударов осколков оболочки двигателя по аэродинамическому кожуху головной части. Такие удары могут привести к детонации ВВ боеголовки. В первом случае боеголовки будут размещены довольно далеко от детонирующей третьей ступени, а находящиеся между ними детали конструкции ослабят давление ударной волны на боеголовки.

Ливерморская национальная лаборатория им. Лоуренса (LLNL) провела испытания детонации ракетного двигателя во время разработки боеголовки W87 для ракеты MX (с конструкцией "чистой палубы"). Испытания проводились, в частности, для подтверждения безопасности головной части Mk21/W87 по отношению к рассеянию плутония при аварии ракеты-носителя, и, в общем, для изучения распыления расщепляющихся материалов, компонентов боеголовки и ракеты при таком взрыве. Результаты показывают, что при авариях с детонацией МБР с конструкцией "чистой палубы" детонация нечувствительного ВВ боеголовки и существенное распыление плутония во вдыхаемую пыль маловероятны<sup>27</sup>. Более вероятно, что компоненты оружия будут выброшены из области детонации со скорос-

тями порядка нескольких сотен метров в секунду. Есть две причины слабой передачи давления ударной волны ВВ. Во-первых, большое расстояние между двигателем третьей ступени и головной частью в конструкции с "чистой палубой" приводит к ослаблению ударной волны. Во-вторых, компоненты блока разведения, стыковочные узлы и тяжелые компоненты боеприпаса еще более ослабляют действие распространяющейся ударной волны, защищая первичный компонент. Напротив, в конфигурации "сквозь палубу", согласно данным испытаний и расчетам, показывают, что давление на поверхности боеголовки Mk21 может лежать в пределах от 100 до 200 килобар<sup>28</sup>. В такой ситуации ВВ вполне возможно прямое инициирование детонации ВВ (механизмом SDT). Даже если этого не произойдет, давление ударной волны будет достаточно велико, чтобы размельчить плутоний и перевести значительную его часть в аэрозольные частицы микронного размера.

**Пожар ракеты-носителя БРПЛ.** При ударных давлениях ниже порога прямой детонации (SDT) основным режимом распыления плутония становится пожар. В ВМС и в Министерстве энергетики подробно изучался потенциальный вариант аварии, при котором ракета падает или раскачивается (например, при отказе крана) при погрузке ракет на подводные лодки (или разгрузке с них)<sup>29</sup>. При малых скоростях столкновений такие аварии вряд ли непосредственно инициируют детонацию ракеты-носителя ударной волной<sup>30</sup>. Тем не менее, они могут привести к воспламенению топлива одной или нескольких ступеней ракеты, которое в свою очередь может привести к аварии, развивающейся по одному из четырех сценариев, три из которых будут сопровождаться крупномасштабным рассеянием плутония:

- боеголовка будет находиться в пламени; плутоний может расплавиться, вытечь из контейнера боеголовки, окислиться и рассеяться<sup>31</sup>;
- быстрое сгорание находящегося в боеголовке обычного ВВ, которое может растрескаться или разрушиться при столкновении, может привести к повышению давления газа, достаточному для перехода к детонации (в режиме DDT);
- взрыв (менее сильный, чем детонация) при быстром сгорании топлива может выбросить сравнительно неповрежденные боеголовки из области горения, при котором может произойти только локальное рассеяние плутония (если оно будет вообще);
- упавшая ракета воспламенится, взлетит в воздух и упадет назад со скоростью, достаточной для детонации двигателя третьей ступени<sup>32</sup>.

Теперь можно понять, почему некоторые утверждают, что применяемое ВМС топливо класса 1.1 фактически обеспечивает более безопасные операции по обслуживанию баллистических ракет. Если, как утверждает ВМС, сила ударов при авариях, которые могут возникнуть в процессе обслуживания, значительно ниже порога прямой детонации любого топлива, то основным механизмом рассеяния плутония станет воспламенение и пожар. Исследования поставщиков показали, что топливо класса 1.1 более устойчиво к случайному воспламенению, чем топливо класса 1.3<sup>33</sup>. С другой стороны, после начала пожара вероятность детонации топлива ступени в режиме DDT или SDT выше для топлива класса 1.1.

Технология пожароустойчивых конструкций, в которой плутониевые компоненты помещены в кожух из тугоплавких материалов, использована в боеголовке W87 (и в некоторых других), но не в W88<sup>34</sup>. Если в боеголовке применены как эта технология, так и нечувствительное ВВ, то вероятность ее выживания во многих авариях, с пожарами значительно возрастет. Эксперименты показали, что

при использовании указанной технологии расплавленный плутоний удерживается в бензиновом пламени с температурой горения от 800 до 1 100 градусов Цельсия может быть удержан в течение часа. Время удержания для пламени твердого топлива, сгорающего при температуре 2 500 градусов, время удержания будет значительно короче. Применение НВВ вместо обычного ВВ увеличит время удержания из-за сравнительно низкой температуры горения<sup>35</sup>.

**Авария с ядерным взрывом.** Разработка ядерных боеголовок производится согласно требованию "безопасности в одной точке". Это означает, что при аварийной детонации в одной точке на внешней поверхности ВВ мощность возможного ядерного взрыва должна быть незначительной<sup>36</sup>. Комиссия Дрелла отметила, что проблема безопасности относительно ядерной детонации не очень хорошо понята, в особенности в случае детонации двигателя третьей ступени БРПЛ, окруженной восемью головными частями<sup>37</sup>.

Сомнения в мощности аварийного ядерного взрыва возникают тогда, когда инициирование взрыва ВВ происходит в нескольких точках в течение очень короткого интервала времени порядка нескольких микросекунд. Как это может произойти? Если детонация двигателя происходит вблизи его оси, то расходящаяся сферическая ударная волна дойдет до корпуса ступени и породит осколки высокой скорости. Эти осколки ударятся об аэродинамический кожух головной части и образуют плоскую ударную волну, которая распространится до взрывчатого вещества боеголовки. Точка ВВ, до которой ударная волна дойдет раньше всего, может сдетонировать. Из-за симметрии конструкции типа "сквозь палубу" ударная волна дойдет до всех восьми боеголовок примерно одновременно и сможет вызвать мощный взрыв, который, однако, вряд ли будет сопровождаться ядерным взрывом. Но что случится, если детонация произойдет на внешней поверхности двигателя (например, при выстреле из стрелкового оружия), прямо напротив одной из головных частей? Несимметричная ударная волна может ускорить осколки корпуса, которые при ударе о ближайшую головную часть вызовут детонацию в одной точке. Пока детонация будет распространяться по топливу, создавая ударяющие по головным частям дополнительные осколки, фрагменты первой боеголовки могут ударить соседние головные части. При совпадении времен ударов может случиться так, что ВВ в соседней боеголовке сдетонирует в нескольких точках, создав сжатие, достаточное для заметного выхода ядерного взрыва.

Конечно, это обсуждение спекулятивно; пуля, движущаяся со скоростью один или два миллиметра в микросекунду, вряд ли сможет привести к детонации в нескольких точках, поскольку фронт детонации движется значительно быстрее, со скоростью около шести миллиметров в микросекунду. Даже если произойдет детонация в нескольких точках, трудно представить себе, что ее конфигурация будет соответствовать возможности "ускорения" ядерного взрыва тритиевым компонентом и достижения полной мощности<sup>38</sup>. Мощность любого аварийного ядерного взрыва будет измеряться десятками тонн, а не сотнями килотонн. Тем не менее, даже если вероятность такого события мала, последствия такой аварии даже при малой мощности взрыва будут настолько сильными, что полная оценка риска для системы "Трайидент" должна включать детальный анализ этого варианта<sup>39</sup>. Такой анализ должен включать сложное моделирование процессов несимметричного взрыва ракетного двигателя (или других механизмов) с целью определения вероятности многоточечной детонации ВВ боеголовки. Такое моделирование может быть проведено только на мощных компьютерах, и оно должно включать в себя трехмерные гидродинамические расчеты с влия-

нием нейтронов, что, очевидно, выходит за пределы данной работы.

### Последствия рассеяния плутония

Плутоний испускает альфа-частицы. Поскольку альфа-частицы не могут пройти через кожу, плутоний не представляет большой угрозы для здоровья, если он находится вне тела. Плутоний наиболее опасен при вдыхании и длительном нахождении в легких. При попадании в желудочный тракт плутоний не так опасен, частично из-за того, что он быстро выводится из организма. Поэтому исследования рассеяния плутония "в основном связаны с анализом той части плутония, которая находится в воздухе, может попасть в легкие, и долго оставаться в них"<sup>40</sup>. Наибольшую опасность представляют частицы размером менее 5 микрон, которые с наибольшей вероятностью могут застрять в легких.

Если достаточно большое количество плутония попадет в легкие, то быстро наступит смерть из-за нарушения дыхания. Без вмешательства врача примерно 4,3 миллиграмма плутония ( $2,6 \cdot 10^{-4}$  Кюри), равномерно распределенного в легких, могут привести к смерти взрослого человека через 30 суток<sup>41</sup>. При меньших количествах плутония в легких (до 0,08 миллиграмма) немедленной реакции не наступает, но последствия могут проявиться позже; вероятность заболевания раком на протяжении жизни увеличится. Согласно одной оценке, основанной на стандартном предположении линейной зависимости от дозы, влияние на экспонированное население может характеризоваться величиной от 3 до 12 ожидаемых смертей от рака в будущем на один миллиграмм попавшего в легкие плутония оружейного качества<sup>42</sup>.

При расчете вредного влияния на здоровье экспонированного населения должны учитываться не только количество частиц плутония и их распределение по размерам, но и многие другие факторы. Надо учитывать также эффективность удержания частиц в облаке аэрозоля, подъем и дрейф облака, механизмы выпадения частиц, и вероятность повторного попадания частиц с поверхности земли в атмосферу. Количество ожидаемых смертей будет зависеть также от погодных условий (направления ветра или количества осадков) и от плотности населения в окружающем районе.

Феттер и фон Хиппель рассчитали последствия аварии на базе SWFPAC, при которой в атмосферу было выброшено 10 килограммов плутония в форме аэрозоля<sup>43</sup>. Выброс такой величины может произойти при аварии с детонацией двигателя третьей ступени в полной конфигурации. При наименее благоприятных предположениях (ясной погоде и скорости ветра в четыре метра в секунду) в направлении Сиэттла их оценка количества ожидаемых смертей лежит в пределах от 20 до 2000 (в зависимости от предположений о высоте облака и скорости выпадения частиц)<sup>44</sup>. Они отмечают, что авария такого рода вряд ли будет сопровождаться немедленными смертельными исходами от облучения большими дозами за пределами базы.

Мы приспособили использованную Феттером и фон Хиппелем модель "клина" для оценки количества ожидаемых смертей от аналогичной аварии на базе SWFLANT. И в этом случае результаты сильно зависят от направления ветра. При ясной погоде и наихудшем направлении ветра в сторону Джексонвилла, штат Флорида (в этом направлении ветер дует 10 процентов времени) количество ожидаемых смертей составляет от 20 до 3000<sup>45</sup>. Оценка сравнима с результатами расчетов для базы SWFPAC.

Такое количество смертельных случаев, хотя и существенно само по себе, не очень сильно увеличивает общий уровень смертности облученного населения от рака, если учесть, что:

- полная доза распределена в большой популяции;
- смерть может наступить через много лет после аварии;
- индивидуальный риск смерти от рака и так слишком высок (один из пяти смертельных исходов).

Для того, чтобы оценить риск в перспективе, предположим, что в случае гипотетической аварии на базе SWFPAC в области выброса плутония находилось 500 тысяч человек. Ожидается, что по той или иной причине около 100 тысяч из них заболеют раком и умрут от него в течение 30-летнего периода. На протяжении 30 лет количество ожидаемых смертей, вызванных естественным фоном облучения (100 миллирем за год) составит 750; эта величина лежит в середине интервала от 20 до 2000 ожидаемых смертей для серьезной аварии<sup>46</sup>. Поэтому влияние аварии на здоровье населения при расчете количества ожидаемых смертей мало по сравнению с другими причинами рака.

Тем не менее, результаты расчетов Феттера и фон Хиппеля показывают, что смертность от рака может быть заметной для тех, кто находится вблизи места аварии. Так, например, на расстоянии в два километра от места аварии смертность от рака увеличится вдвое<sup>47</sup>. Если их расчеты для малых расстояний верны, то люди, находящиеся на расстоянии в несколько сотен метров могут вдохнуть количество плутония, достаточное для развития легкой формы лучевой болезни. Кроме того, стоимость дезактивационных работ (включая судебные издержки и уменьшение стоимости собственности) может быть значительна. Так, например, расходы США на поиск оружия, очистку и возмещение убытков после аварии в Паломаресе превысили 100 миллионов долларов. В современных ценах эти расходы составляют 0,5 миллиарда долларов. Следует ожидать, что в городских районах, таких, как Джексонвилл или Сиэтл, расходы значительно возрастут. Отметим, что при описанных выше гипотетических авариях загрязнение почвы будет на два порядка больше, чем официальная предельно допустимая величина<sup>48</sup>.

Если при аварии с ракетами "Трайидент" произойдет небольшой ядерный взрыв, то выход энергии в ядерных реакциях почти наверняка будет меньше, чем при детонации самой ракеты (около 100 тонн тротилового эквивалента для ракеты D-5). Из-за большой скорости энерговыделения весь плутоний в боеголовках перейдет в форму аэрозоля. При выходе энергии в ядерном взрыве в десять тонн образуется и рассеется примерно один грамм радиоактивных продуктов деления. Количество ожидаемых смертей при вдыхании радиоактивных частиц будет больше, чем при детонации ракеты без ядерного взрыва, но, скорее всего, не более чем в два раза.

Даже если по некоторым меркам риск для здоровья сравнительно невелик, то авария, рассмотренная Феттером и фон Хиппелем, или авария с небольшим ядерным взрывом, может подорвать доверие общественности к операциям с ядерным оружием. Протесты после аварии могут привести к приостановке или прекращению программы "Трайидент".

### III. ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ БОЕГОЛОВЕК СИСТЕМЫ "ТРАЙДЕНТ"

В этом разделе мы рассмотрим три подхода к повышению безопасности ядерных боеголовок системы "Трайидент":

- приспособить имеющиеся боеголовки с нечувствительным ВВ к головным частям Mk4 и Mk5;
- переоснастить боеголовки W76 и W88 нечувствительным ВВ;
- разработать новые безопасные боеголовки для Mk4 и Mk5.

После этого мы рассмотрим перспективы производства плутониевых и бериллиевых компонентов и

ограничения по испытаниям, которые могут повлиять на создание новых боеголовок.

### Введение

В обращении к стране 28 января 1992 года Президент Буш объявил, что "США должны прекратить производство новых боеголовок для баллистических ракет морского базирования", что означало прекращение производства боеголовки W88 для системы "Трайидент". Еще до этого объявления Министерство энергетики приостановило производство данной ядерной боеголовки из-за проблем с охраной здоровья и с безопасностью на заводе Роки-Флэтс, производящем плутониевые компоненты ядерных боеприпасов. Участки обработки плутония на заводе Роки-Флэтс были закрыты на ремонт в 1989 году, и перспективы возобновления их работы в ближайшем будущем весьма неопределенны<sup>49</sup>. После прекращения производства остался запас примерно в 400 боеголовок, достаточный для оснащения двух подводных лодок (при восьми боеголовках на ракете). Следующие подводные лодки с ракетами D-5 будут оснащаться головными частями Mk4 с боеголовками W76<sup>50</sup>.

Заявление президента просто остановило производство боеголовки W88. Оно явно не запрещает разработку и производство новой боеголовки для ракеты D-5, если, например, новым требованием станет повышение безопасности. Точно так же она не запрещает модификации имеющихся боеголовок для выполнения новой задачи. В июле 1992 года ВМС и Министерство энергетики начали совместные работы по ядерному оружию этапа II для изучения возможности разработки боеголовок с повышенной безопасностью для системы "Трайидент". Среди прочих вопросов в этих работах должны быть выявлены подходы к переоснащению боеголовок, совместимых с головными частями Mk4 и Mk5, нечувствительным ВВ и включению в их состав средств повышения пожароустойчивости.

Помимо обусловленных договором СНВ-II возможных сокращений количества боеголовок на БРПЛ до 1750, на систему "Трайидент" может повлиять еще одно недавнее событие. В октябре 1992 года конгресс наложил ограничения на проведение ядерных испытаний, которые могут задержать разработку ядерных боеголовок повышенной безопасности для системы "Трайидент".

### Основные принципы конструирования головных частей

В состав ГЧ входят аэродинамический кожух, ядерная боеголовка, электронная система оружия, взрыватель, электрические кабели связи с блоком разведения, и другие устройства, например, система закрутки ГЧ вокруг главной оси перед входом в атмосферу для повышения устойчивости на участке входа. Толщина аэродинамического кожуха и внутренней конструкции определяются ожидаемой механической и тепловой нагрузкой при входе в атмосферу. На рис. 5 показаны компоненты типичной ГЧ.

Баллистический коэффициент ГЧ  $\beta$  пропорционален ее массе и обратно пропорционален произведению коэффициента торможения на площадь поперечного сечения. Чем больше баллистический коэффициент, тем меньше торможение ГЧ на участке входа в атмосферу. ГЧ с большим значением  $\beta$  проводят в атмосфере меньше времени и менее подвержены влиянию атмосферных эффектов, таких, как ветер, осадки или неоднородности плотности, которые могут отклонить ГЧ от заданного курса. Типичные значения  $\beta$  у современных ГЧ составляют примерно 10 000 килограммов на квадратный метр<sup>51</sup>.

Для устойчивости полета ГЧ в атмосфере не-

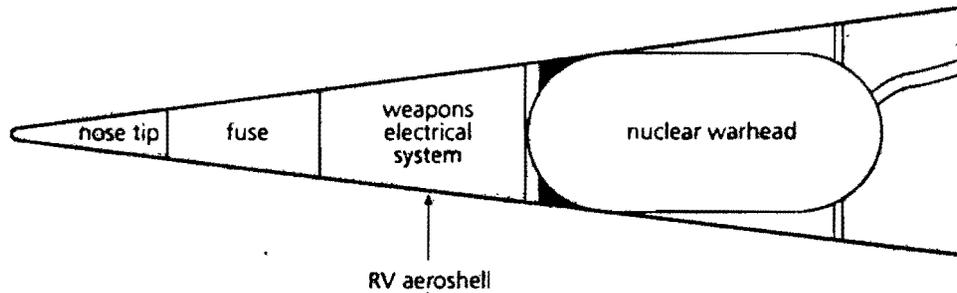


Рисунок 5  
Компоненты типичной головной части

обходимо, чтобы ее центр тяжести находился впереди центра аэродинамического давления на определенную долю от общей длины ГЧ. Для современных ГЧ величина смещения составляет от 3 до 10 процентов. Поскольку обычно самым тяжелым компонентом ГЧ (и обладающим самым большим диаметром) является ядерная боеголовка, удержание смещения в нужных пределах потребует максимально возможного и совместимого с другими элементами ГЧ перемещения боеголовки вперед.

На основе этих простых соображений можно понять основные компромиссы конструирования конических ГЧ. Например, если конструктор стремится достичь достаточно большого значения  $\beta$  для уменьшения вклада атмосферных эффектов в отклонение точек падения. При выбранной боеголовке и заданном значении угла конуса увеличение  $\beta$  может быть достигнуто за счет сокращения длины ГЧ. Однако, длина ГЧ должна быть достаточно велика, чтобы центр давления находился на требуемом расстоянии за центром тяжести. Если, как у БРПЛ, длина ограничена сверху, надо будет несколько увеличить угол конуса, чтобы сместить боеголовку (и центр тяжести) вперед. Однако, такой сдвиг приведет к увеличению диаметра основания и коэффициента торможения, что, в свою очередь, уменьшит значение  $\beta$  и ухудшит точность.

Требования, предъявляемые к дальности, точности, размерам ГЧ и мощности боеголовки, накладывают жесткие ограничения на конструкцию ГЧ и боеголовки. Для оптимизации системы ГЧ и удовлетворения требований к характеристикам надо добиться тонких компромиссов в параметрах конструкции ГЧ и боеголовки (включая размеры и вес боеголовки, длину ГЧ, диаметр основания, коэффициент  $\beta$ , и расстояние между центрами давления и тяжести). Модификации для выполнения новых требований, например, установки нечувствительного ВВ для повышения безопасности, как правило, не будут очевидными.

**Оценки массы ГЧ**

Оценки массы ГЧ необходимы для расчета влияния изменения выводимой нагрузки на дальность полета ракеты. Такие оценки можно сделать на основе простого эмпирического правила: общая масса всех ГЧ составляет примерно половину от выводимой нагрузки. В табл. 5 показаны результаты оценки массы ГЧ для МБР МХ и нескольких БРПЛ.

Оценку увеличения массы боеголовки при переходе к НВВ и установке противопожарной защиты можно получить, сравнивая массу боеголовки W87, включающей эти устройства, с боеголовкой W88, не имеющей их<sup>52</sup>. Первая боеголовка на 25 килограмм-

мов тяжелее второй. Разница в массе возникает по нескольким причинам. Во-первых, боеголовка с НВВ сама по себе всегда тяжелее (при равной мощности) боеголовки с обычным ВВ. Во-вторых, больший диаметр боеголовки с НВВ не позволяет разместить ее так же далеко впереди, что смещает центр тяжести боеголовки назад и уменьшает запас устойчивости. Сохранение устойчивости потребует либо смещения центра тяжести вперед установкой балласта в носовой части (если позволяет место), либо смещения назад центра давления за счет удлинения ГЧ. В каждом варианте масса ГЧ увеличивается. Кроме того, у длинной ГЧ увеличится диаметр основания и коэффициент торможения, что приведет к уменьшению величины  $\beta$ <sup>53</sup>.

Между Mk21 и Mk5 есть и другие различия. Механизм закрутки ГЧ на ракете "Трайидент" размещается на блоке разведения, а у ракеты МХ - на самой ГЧ Mk21. У Mk5 системы электроники и взрывателей объединены, что позволяет сэкономить массу и пространство. Аэродинамический кожух ГЧ Mk21 рассчитан на большие тепловые нагрузки, чем у ГЧ Mk5, и, кроме того, его основание скруглено. Эти причины увеличивают массу ГЧ Mk21 по сравнению с Mk5, в дополнение к применению НВВ и средств повышения пожароустойчивости. Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать величину в 25 килограммов как верхний предел увеличения массы боеголовки с мощностью порядка 500 килотонн из-за применения НВВ и средств повышения пожароустойчивости.

**Влияние уменьшения мощности боеголовки**

Целесообразно рассмотреть оснащение ракет системы "Трайидент" боеголовками меньшей мощности, поскольку варианты боеголовок с НВВ, в особенности тех, которые могут быть совместимы с Mk4 и Mk5, могут быть именно такими. Как видно из табл. 5, мощность W88 значительно больше, чем у W68 и W76, и полезно посмотреть, сможет ли ракета D-5, обладающая поразительной точностью, выполнить задачу поражения защищенных целей, если поступиться мощностью взрыва для уменьшения безопасности. Не следует считать, что система D-5 была оптимизирована для максимальной эффективности поражения существующих защищенных целей. Напротив, мог быть заложен определенный запас характеристик, позволяющий системе D-5 оставаться эффективной при потенциально возможном увеличении эффективности советских целей<sup>54</sup>.

Вероятность разрушения цели при воздействии избыточного давления ударной волны зависит от прочности цели, надежности системы оружия, мощ-

Таблица 5  
Оценки массы ГЧ, полученные из Меморандума о взаимопонимании договора СНВ-1

Ракета	ГЧ/боеголовка	Мощность <sup>1</sup> , кт	Число ГЧ	Выводимая нагрузка <sup>2</sup> , кг	Масса ГЧ <sup>3</sup> , кг
MX	Mk21/W87	335	10	3950	200
D-5	Mk5/W88	475	8	2800	175
C-4	Mk4/W76	100	8	1500	95
C-3	Mk3/W68	40	14 <sup>4</sup>	2000	70

<sup>1</sup> Данные по мощности боеголовок взяты из "Modernizing U.S. Strategic Offensive Forces: The Administration Program and Alternatives", Congressional Budget Office (CBO), USGPO, Washington, D.C., May 1983.  
<sup>2</sup> Данные по выводимой нагрузке взяты из Меморандума о взаимопонимании договора СНВ.  
<sup>3</sup> Масса боеголовки рассчитывалась как половина выводимой нагрузки, деленная на число боеголовок, с округлением результата до ближайших пяти килограммов.  
<sup>4</sup> При испытаниях.

ности боеголовки и точности ГЧ. В табл. 6 показаны значения вероятностей поражения цели с живучестью 350 атмосфер для различных мощностей боеголовок и точностей ГЧ, когда на каждую цель выделяется одна или две боеголовки.

Из табл. 6 видно, что для целей с живучестью 350 атмосфер при точности попадания ракеты D-5 в 90 - 135 метров значительные вероятности поражения могут быть достигнуты при мощности боеголовок, заметно меньшей, чем у W88. При наиболее оптимистичных предположениях о точности уменьшение мощности боеголовки до 200 килотонн приведет к понижению вероятности поражения всего лишь на 10 процентов (с 0,88 до 0,78). При КВО в 90 метров даже боеголовка мощностью в 100 килотонн обеспечит вероятность поражения одной боеголовкой, равную 0,6. Если КВО будет хуже, и достигнет 180 метров, то вероятность поражения цели с живучестью 350 атмосфер одной боеголовкой мощностью в 300 килотонн будет равна 0,4, и увеличится до 0,7 при использовании двух боеголовок. Мы можем считать, что если точность соответствует заявлениям (менее 130 метров), мощность боеголовки системы "Трайидент" может быть уменьшена до 100 или 200 килотонн без существенного уменьшения возможности поражения защищенных целей.

#### Приспособление имеющихся боеголовок с НВВ к головным частям Mk4 и Mk5

Одним из возможных кандидатов для системы "Трайидент" является головная часть Mk21 с боеголовкой W87, в котором применяется нечувствительное ВВ, установленная в настоящее время на ракете MX. Эта конструкция проверена примерно при такой же мощности, как у W88. Поскольку W87 больше и тяжелее W88, она не может быть установлена на ГЧ Mk5 и тем более на Mk4. ГЧ Mk21 длиннее Mk5, и диаметр основания у нее больше (правда, точные размеры и расположение элементов в открытой пе-

чати не появлялись). ГЧ Mk21 просто не может быть установлена на ракете D-5, по крайней мере, при сохранении существующих зазоров, если кольцевая область вокруг третьей ступени слишком узка (см. рис. 2). Даже если она поместится в этой области, электрический и механический интерфейс ГЧ Mk21 с ракетой может потребовать изменений.

Для ракеты MX было произведено более 500 боеголовок W87. Если ГЧ Mk21 может быть согласована с ракетой D-5, то придется изготовить новые боеголовки и возникнет проблема закрытия Роки-Флэтс<sup>36</sup>. Повторное начало производства W87 может потребовать проведения ядерного испытания "подтверждения производства" для того, чтобы убедиться, что небольшие изменения в производственном процессе, вызванные длительным перерывом в работе, не повлияют на качество боеголовки.

Возможными кандидатами для установки на БРПЛ могут быть боеголовки W80 и W84, соответственно устанавливаемые на крылатых ракетах воздушного базирования ALCM и снятых с вооружения крылатых ракетах наземного базирования GLCM. В обеих боеголовках применено НВВ, а на боеголовке W84, кроме того, установлены средства повышения пожароустойчивости. Однако, эти боеголовки разрабатывались для использования на крылатых ракетах, которые летят на малой высоте с малой скоростью. Условия окружающей среды на "последовательности от склада до цели" существенно отличаются от тех, которые будет испытывать стратегическая боеголовка, и для определения возможности использования этих конструкций в Mk5 требуется большой объем испытаний и разработок. Если это станет возможным, то надо будет производить новые боеголовки и снова возникнет проблема Роки-Флэтс.

Согласно действующим планам, боеголовки W68 и W76, соответственно размещенные на БРПЛ "Посейдон С-3" и "Трайидент С-4", будут сниматься с вооружения в больших количествах, которые могут

Таблица 6  
Вероятность разрушения цели с живучестью в 350 атмосфер<sup>1</sup>  
(надежность системы оружия считалась равной 0,9)

Мощность (кт)	КВО = 90 м		КВО = 135 м		КВО = 180 м	
	1 на 1	2 на 1	1 на 1	2 на 1	1 на 1	2 на 1
100	0,65	0,88	0,39	0,63	0,24	0,43
200	0,78	0,95	0,53	0,78	0,36	0,59
300	0,84	0,97	0,62	0,86	0,43	0,68
400	0,86	0,98	0,68	0,90	0,49	0,75
500	0,88	0,99	0,73	0,93	0,54	0,79

<sup>1</sup> Вероятность поражения цели одной боеголовкой рассчитывалась по следующей формуле:  $P_{1к} = R \cdot SPPK$ , где R - надежность системы оружия, SPPK - вероятность поражения при одиночном взрыве, равная  $1 - (0,5)^{WR \cdot WR / (KBO \cdot KBO)}$ , где WR - радиус поражения оружия при живучести цели в 350 атм, равный 266 Y<sup>1/3</sup> (Y - мощность боеголовки в мегатоннах). Если для поражения цели используются две боеголовки с разных ракет, то вероятность поражения становится равной  $P_{2к} = R \cdot SPPK (2 - R \cdot SPPK)$ .

стать еще большими при выполнении договора СНВ-II. В этих боеголовках используется обычное ВВ. Кроме того, мощность W68 примерно в 10 раз меньше, чем у W88, и ее способность поражения защищенных целей минимальна. Возможно, что компоненты этих боеголовок из расщепляющихся материалов могут быть использованы в новых боеголовках с НВВ. В конце этого раздела мы обсудим эту возможность более подробно.

#### Включение НВВ в боеголовки W76 и W78

Может показаться, что наиболее простым методом повышения безопасности является замена обычного ВВ боеголовок W76 и W88 на нечувствительное ВВ. Анализ этого подхода должен включать вопросы конструирования ядерного оружия, по которым имеется очень мало информации, доступной широкой общественности. Поэтому наше обсуждение будет обязательно носить качественный характер.

Взрывчатое вещество инициирует ядерную детонацию первичного компонента боеголовки, которая, в свою очередь, запускает большую термоядерную детонацию во вторичном компоненте. Точнее говоря, направленная внутрь ударная волна сжимает оболочку из расщепляющегося материала, повышая вероятность того, что быстрые нейтроны из делящихся ядер встретят другие ядра до того, как покинут боеголовку<sup>57</sup>. Поглощение нейтронов вызывает новые деления, и образовавшаяся цепная реакция, усиленная дейтериево-тритиевым ускорением, высвобождает энергию, которая сосредоточивается на термоядерном вторичном компоненте, сжимая и нагревая его. При достижении критической температуры и давления начинаются реакции синтеза во вторичном компоненте, превращающие дейтерий и тритий в ядра гелия и быстрые нейтроны. Огромное количество энергии, выделяющееся при реакциях деления и синтеза во вторичном компоненте, определяет основную часть полной мощности боеголовки.

Мощность первичного компонента и его характеристики зависят от многих параметров, таких, как геометрическая конфигурация, масса расщепляющегося материала, количество и плотность энергии используемого ВВ, и количество трития для ускорения. Компромиссный выбор этих параметров позволяет оптимизировать некоторые особенности конструкции. Конструкторы W76 и W88, добиваясь максимальной мощности при ограничениях по массе и размерам, выбрали обычное ВВ из-за большей плотности энергии.

Несмотря на то, что переделка и переоборудование боеголовок является дорогостоящим и длительным процессом, она встречалась в истории американской программы ядерных вооружений. В программе баллистических ракет флота присутствовали такие эпизоды:

1.) В начале 60-х годов некоторые боеголовки W47 ракеты "Полярис" были заменены после того, как во время обычной проверки арсенала была обнаружена коррозия расщепляющихся материалов<sup>58</sup>. Позднее, после того, как были выявлены проблемы с механической системой безопасности, пришлось заменить первичные компоненты у всех боеголовок W47<sup>59</sup>.

2.) После того, как было обнаружено, что продукты распада ВВ вызывают неисправности детонаторов, пришлось переделать все боеголовки W68 ракет "Посейдон"<sup>60</sup>.

Если в боеголовке с обычным ВВ заменить его на равный объем НВВ, то боеголовка не будет работать нормально из-за того, что плотность энергии НВВ на одну треть меньше<sup>61</sup>. При конструировании ядерного оружия берется небольшой запас так, чтобы несколько меньшая степень сжатия все равно сопровождалась бы полным выходом энергии из вто-

ричного компонента. Большая разница в плотности энергии заставляет предполагать, что модифицированная таким образом первичная компонента не позволит достичь проектной мощности своего взрыва, что будет недостаточно для инициирования взрыва вторичной компоненты.

Одно из возможных решений связано с увеличением количества расщепляющегося материала, что позволяет достичь проектной мощности взрыва при меньшей степени сжатия. Мы не можем оценить пригодность этого способа для боеголовок W76 и W88. Добавление расщепляющегося материала к первичному компоненту может, однако, повлиять на безопасность конструкции при детонации в одной точке.

С другой стороны, можно увеличить количество НВВ для компенсации меньшей плотности энергии, но размеры и форма ГЧ ограничивают эту возможность. Половинный угол конуса ГЧ Mk4 и Mk5 равен примерно восьми градусам; это означает, что для любой компоненты, размер которой ограничен аэродинамическим кожухом, увеличение диаметра на некоторую величину должно сопровождаться ее смещением назад на примерно 3,5 таких величин. Внутри ГЧ может не оказаться места для размещения новой боеголовки. Кроме того, любое смещение тяжелого элемента назад понижает запас устойчивости полета боеголовки.

Следовательно, модификация существующих боеголовок БРПЛ с использованием НВВ не может стать продуктивным направлением, если необходимо обеспечение совместимости с ГЧ Mk4 и Mk5. Модифицированные таким образом боеголовки выйдут за ограничения данных ГЧ по массе и габаритам. Даже если модификация боеголовок будет возможна, она потребует проведения нескольких ядерных испытаний, а ее стоимость составит заметную часть от стоимости программы разработки новой боеголовки.

#### Разработка новых боеголовок с повышенной безопасностью

Наиболее эффективным способом замены обычного ВВ боеголовок системы "Трайидент" на нечувствительное ВВ следует считать разработку новых боеголовок для ГЧ Mk4 и Mk5, в которых с самого начала будет предусмотрено применение НВВ и средств повышения пожароустойчивости. Размеры и вес боеголовок с НВВ можно будет сделать такими, что их можно было разместить в имеющихся ГЧ при некоторой потере мощности боеголовок. Изготовление новых боеголовок потребует участия производственного комплекса Министерства энергетики, включая Роки-Флэтс (или его эквивалент) для плутониевых компонент (если нельзя будет повторно использовать имеющиеся компоненты), завод Y-12 для производства вторичных компонент и завод "Пантекс" для сборки боеголовок.

Если можно будет приспособить уже разработанную боеголовку для ГЧ стратегических БРПЛ, то можно будет добиться некоторой экономии. Интересную возможность представляет программа W89. Полная разработка W89 для ракеты SRAM II была прекращена в июле 1992 года. В ее конструкции были предусмотрены использование НВВ, установка средств повышения пожароустойчивости, современной системы электрической безопасности, а ее мощность должна была составлять несколько сотен килотонн. Еще более интересно то, что из-за остановки Роки-Флэтс при разработке W89 предусматривалось, что в ней должны были повторно использоваться плутониевые компоненты, и что возможность их повторного использования была проверена в специальном ядерном испытании<sup>62</sup>.

Если будет возможно приспособить W89 к Mk5, то можно будет добиться определенных преимуществ. Во-первых, программа разработки W89 пред-

винулась довольно далеко, так что стоимость адаптации системы и завершения разработки не будет очень велика. Во-вторых, большая часть программы ядерных испытаний W89 уже закончена. В-третьих, можно будет обойтись без дорогостоящей программы разработки новой головной части. И, наконец, боеголовка с повышенной безопасностью может быть размещена без повторного ввода в строй установки в Роки-Флэтс. Основной вопрос, однако, заключается в том, сможет ли боеголовка, предназначенная для атакующей ракеты воздушного базирования, быть приспособлена для установки в стратегической ГЧ. В настоящее время ВМС и Министерство энергетики прилагают совместные усилия для поиска ответа на этот вопрос.

В последующих обсуждениях мы будем предполагать, что боеголовка с НВВ, возможно W89, может оказаться совместимой с ГЧ Mk5. Характеристики такой боеголовки будут такими, что если вес ГЧ Mk5 останется прежним, то мощность ее уменьшится примерно на 10 - 20 процентов. Из-за сравнительно малой чувствительности вероятности поражения защищенной цели от мощности боеголовки (это обсуждалось выше), мы будем обращать особое внимание на вариантах, соответствующих уменьшению мощности при сохранении массы, а не сохранению мощности при повышении массы ГЧ.

В отличие W89 для Mk5, разработанных боеголовок с НВВ, которые могли бы быть адаптированы к Mk4, нет, и здесь понадобится разработка новой боеголовки. Сравнивая с Mk5, можно отметить, что разработать новую небольшую боеголовку с НВВ, совместимую с Mk4 при сохранении прежнего веса будет труднее. Следовательно, мы должны ожидать несколько большей потери мощности, возможно, в интервале от 10 до 40 процентов.

Другие, более экзотичные концепции повышения безопасности могут быть связаны с отделяемыми компонентами. Например, в одной из конфигураций плутониевые детали безопасно содержатся под охраной в отдалении от взрывчатых веществ, пока не будет получен приказ на запуск ракеты. Такие концепции обеспечат безусловную безопасность от рассеяния плутония при авариях. Однако, мы не можем оценить пригодность этих концепций для стратегических ГЧ.

#### Производство плутониевых и бериллиевых • компонент ядерных боеголовок

Если повторно использовать плутониевые компоненты в модифицированных боеголовках БРПЛ будет нельзя, то необходима возможность производства плутониевых и бериллиевых деталей. Здесь имеются два варианта:

- привести установки в Роки-Флэтс в соответствие с требованиями по охране окружающей среды;
- организовать мелкосерийное производство этих деталей в Лос-Аламосе или Ливермор, где имеются установки для обращения с этими материалами, их обработки и изготовления деталей.

Перспективы возобновления работ на Роки-Флэтс остаются неясными<sup>63</sup>. Основным фактором может стать способность одной из ядерных лабораторий организовать производство 50 или 100 плутониевых компонентов в год. Основные усилия будут связаны, тем не менее, с подготовкой официальных документов о влиянии на окружающую среду, без утверждения которых нельзя будет начать нового производства.

#### Ядерные испытания и система "Трайидент"

В сентябре 1992 года конгресс принял закон об ассигнованиях на развитие энергетики и водных ресурсов (1993). Этот закон предусматривает прекращение ядерных испытаний до июля 1993 года и

устанавливает максимальное количество в 15 испытаний для обеспечения безопасности (включая испытания для Великобритании, проводящиеся на испытательном полигоне в Неваде) на период с июля 1993 года по сентябрь 1996 года. Закон предусматривает, что после 30 сентября 1996 года ядерные испытания в США должны быть прекращены, если только иностранное государство не проведет такого испытания после этой даты. В июле 1993 года президент продлил американский мораторий до сентября 1994 года, но отметил, что если другая страна проведет испытание в течение этого периода, то он запросит у Конгресса разрешения на проведение испытаний в соответствии с законом. В октябре 1993 года ядерное испытание провел Китай, и президент приказал Министерству энергетики подготовить план возобновления испытаний, но в начале 1994 года он решил продлить мораторий до сентября 1995 года. При обсуждениях, предшествовавших первому продлению моратория, использование части разрешенных испытаний для разработки и развертывания боеголовки повышенной безопасности для системы "Трайидент" не получило большой поддержки в Министерстве энергетики и Министерстве обороны.

Для разработки новых ядерных боеголовок нужны ядерные испытания. Для того, чтобы создать новый первичный компонент с НВВ, и убедиться в его способности "поджечь" термоядерный вторичный компонент, испытания с мощностью до 150 килотонн желательны, если не необходимы. Разработка самого первичного компонента потребует испытаний с на порядок величины меньшей мощностью. Обычная программа создания ядерной боеголовки требует около пяти лет исследований и разработок, включая проведение в среднем пяти ядерных испытаний. Если создавать ядерные боеголовки с повышенной безопасностью для ГЧ Mk4 и Mk5, то на эти две программы надо выделить всего лишь 5 или 6 из 15 разрешенных испытаний. При этом предполагается, что для Mk5 будет приспособляться боеголовка, которая разрабатывалась ранее (W89).

Американские законы и последние действия президента по продолжению моратория могут закрыть все возможности для разработки и развертывания новых боеголовок повышенной безопасности для системы "Трайидент". Если, тем не менее, США решат возобновить ядерные испытания после сентября 1995 года в ответ на испытания в Китае или в какой-то другой стране, тогда потребуются ключевые решения для использования возможности разработки боеголовок системы "Трайидент". Во-первых, испытаниям, связанным с этой системой, надо придать наивысший приоритет по сравнению с другими испытаниями, такими, как испытания для повышения безопасности других боеголовок арсенала, для проверки надежности боеголовок и для разработки английских боеголовок. Во-вторых, для выполнения работ до крайнего срока в сентябре 1996 года надо ускорить разработку и программу ядерных испытаний для одной или для обеих боеголовок "Трайидента", что потребует целенаправленных усилий и, возможно, увеличения затрат на исследования и разработки в области ядерного оружия на будущие три года. И, наконец, если разработка боеголовок для системы "Трайидент" не будет закончена к 1996 году в ускоренной программе, или в какой-либо другой, то президенту следует решить, стоит ли оказывать давление с целью получения возможности проведения некоторых испытаний после 1996 года.

#### IV. ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ "ТРАЙДЕНТ" НА ЕЕ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В этом разделе мы рассмотрим влияние повы-

Таблица 7  
 Параметры "стандартной" ракеты D-5

Стартовая масса				56 525 кг		
Выводимая нагрузка (с восемью ГЧ Mk5)				2 700 кг		
Масса носового обтекателя				180 кг		
Диаметр ракеты				211 см		
Тип топлива				Класс 1.1 на всех ступенях		
Номинальная дальность				7 600 км		
Ступень	Масса ступени	Масса топлива	Доля массы	Сила тяги	Удельный импульс <sup>1</sup>	Время горения
	кг	кг		ньютон	сек	сек
1	39 742	37 500	0,929	1 559 000	271	64
2	11 874	11 060	0,931	448 500	281	68
3	2 207	2 050	0,929	124 500	303	49

<sup>1</sup> Увеличение удельного импульса при переходе от первой к третьей ступеням связано с уменьшением внешнего (атмосферного) давления. Работа третьей ступени практически происходит в вакууме.

шения безопасности системы "Трайидент" на ее оперативно-технические характеристики, включая живучесть и способность поражения защищенных целей. Мы рассчитаем, каким образом дальность ракет системы, допустимые размеры области патрулирования ПЛАРБ в океане, и длительность патрулирования будут зависеть от выводимой нагрузки и типа топлива на каждой ступени. Наши расчеты основаны на следующем подходе:

- мы разработали простую инженерную модель ракет С-4 и D-5 на основе имеющейся в открытой литературе технической информации и дополнительных оправданных предположений;

- мы провели численное интегрирование уравнений движения ракеты и построили набор траекторий для определения максимальной дальности;

- для заданной максимальной дальности мы рассчитали площадь районов открытого моря в Тихом и Атлантическом океанах, в которых американские ПЛАРБ будут находиться в пределах дальности ракет от ключевых целей (большая площадь возможных районов патрулирования увеличивает живучесть ПЛАРБ по отношению к средствам ПЛО); мы рассчитали также, какую долю времени патрулирования ПЛАРБ будет находиться в пределах дальности от ключевых целей;

- мы изучили влияние связанных с повышением безопасности модификаций на оперативно-технические характеристики системы, изменяя значения различных важных параметров ракет.

#### Набор целей

Набор целей, выбираемый для оценки параметров системы "Трайидент", является одним из основных вопросов. Мы выбрали для этого пусковые шахты ракет SS-18 в бывшем Советском Союзе<sup>64</sup>.

Следует объяснить этот выбор, поскольку некоторые могут утверждать, что в свете современных отношений между сверхдержавами задача угрозы SS-18 не является критической. Более того, при вступлении в силу договора СНВ-II все эти ракеты должны быть убраны из своих шахт еще до конца десятилетия. Наша задача, однако, заключается в разъяснении влияния модификации системы "Трайидент", направленной на повышение безопасности, на ее функционирование и живучесть, и для того, чтобы сделать это, нам нужно сравнить возможность выполнения конкретной задачи модифицированной системой с той, которую может выполнить имеющаяся система.

Система "Трайидент D-5" с самого начала разрабатывалась для угрозы защищенным целям в Советском Союзе, включающим шахты МБР. Наиболее высокие требования при этом были связаны с ракетами SS-18, и для этого имелись две причины. Во-первых, современные шахты советских МБР могут противостоять давлению воздушной ударной волны в 350 атм и поэтому для их надежного уничтожения надо было применять высокоточные боеголовки большой мощности<sup>65</sup>. Во-вторых, ракеты SS-18 расположены во внутренних районах России и Казахстана. Они являются наиболее удаленными среди всех защищенных целей. Если рассматривать ракеты SS-18 как важные цели системы "Трайидент", то почти наверняка эти цели наиболее серьезно ограничивают операции системы и возможные районы патрулирования<sup>66</sup>.

Таким образом, мы выбираем ракеты SS-18 как общий класс целей, определяющий наиболее трудновыполнимые требования к системе "Трайидент". Этот выбор не означает того, что мы считаем, что пусковые шахты ракет SS-18 продолжают оставаться критическими целями (хотя никто не может

Таблица 8  
 Параметры "стандартной" ракеты С-4

Стартовая масса				30 900 кг		
Выводимая нагрузка (с восемью ГЧ Mk4)				1 400 кг		
Масса носового обтекателя				100 кг		
Диаметр ракеты				288 см		
Тип топлива				Класс 1.1 на всех ступенях		
Номинальная дальность				7 600 км		
Ступень	Масса ступени	Масса топлива	Доля массы	Сила тяги	Удельный импульс <sup>1</sup>	Время горения
	кг	кг		ньютон	сек	сек
1	19 070	17 700	0,928	783 460	271	60
2	8 590	7 930	0,923	363 960	281	60
3	1 840	1 700	0,924	140 220	303	36

<sup>1</sup> Увеличение удельного импульса при переходе от первой к третьей ступеням связано с уменьшением внешнего (атмосферного) давления. Работа третьей ступени практически происходит в вакууме.

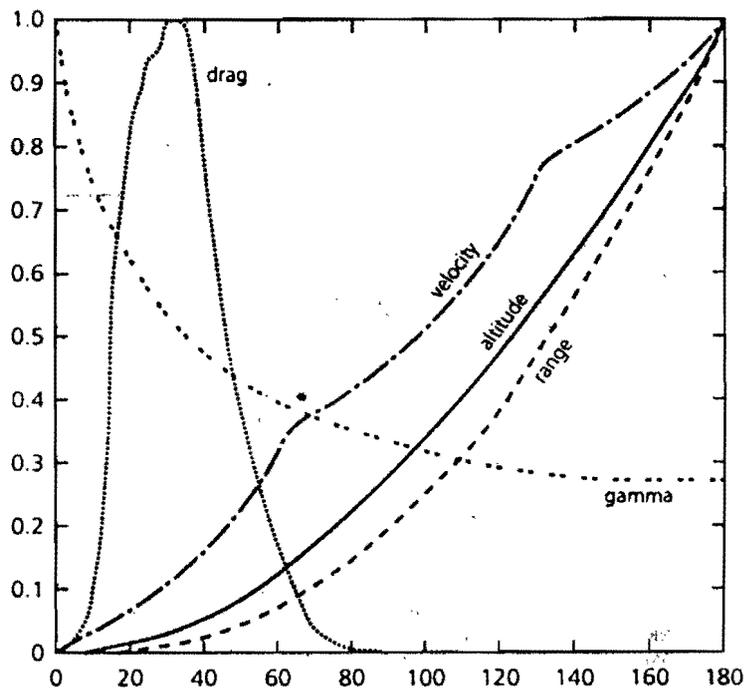


Рисунок 6

Рассчитанные по программе параметры траектории профиля активного участка полета "стандартной" ракеты D-5. Параметр "гамма" представляет собой угол между вектором скорости ракеты и местной горизонтальной. Масштабные параметры для дальности, высоты, скорости и угла "гамма" соответственно равны 509 км, 241 км, 6,4 км/сек и 87,3 градуса.

исключить, что в будущем угрозы могут появиться в том же районе, где располагаются эти ракеты). Кроме того, если мы покажем, что модификации системы "Трайидент" для повышения ее безопасности не очень существенно влияют на выполнение самых трудных задач, то мы сможем с уверенностью утверждать, что они тем более не повлияют на выполнение задач, предъявляющих не столь серьезные требования.

#### Модель ракеты

Исходными данными для программы расчета на ЭВМ являются стартовая масса ракеты, выводимая нагрузка, длительность горения топлива, удельный импульс топлива и поперечное сечение ракеты для каждой ступени<sup>67</sup>. Плотность атмосферы и скорость звука в воздухе в зависимости от высоты задаются в табличном виде.

Удельный импульс  $l_{sp}$ , определяющий эффективность топлива, связан с параметрами ракетного двигателя следующим соотношением:

$$F_t = (dM/dt) g l_{sp}$$

где  $F_t$  - сила тяги двигателя,  $(dM/dt)$  - скорость потребления топлива в кг/сек, и  $g$  - ускорение свободного падения. Величину  $l_{sp}$  можно рассматривать как отношение тяги, произведенной определенным количеством ракетного топлива, к весу топлива, затрачиваемому в одну секунду.

Расчеты основаны на предположении, что сила тяги каждой ступени во время полета постоянна. Учитываются еще две силы: сила тяжести и сила

аэродинамического торможения. Последняя сила зависит от поперечного сечения ракеты, ее скорости, и плотности воздуха в точке нахождения ракеты. Ускорение, скорость и положение ракеты рассчитывались при помощи численного интегрирования уравнения движения.

При запуске ориентация ракеты отклонялась от вертикали на несколько градусов. Первые две ступени выполняли "гравитационный поворот", при котором сила тяги и вектор скорости ракеты были параллельны ее продольной оси. Этот тип траектории, или приближение к нему, часто применяется для баллистических ракет для уменьшения действия внеосевых аэродинамических сил. После завершения второй ступенью гравитационного поворота тяга третьей ступени управляется таким образом, чтобы в момент выключения двигателя вектор скорости был направлен по траектории максимальной дальности для баллистического неуправляемого полета<sup>68</sup>.

Основываясь на этом алгоритме, мы определили стандартные модели ракет таким образом, чтобы разумные значения параметров модели, приведенные в табл. 7 и 8, соответствовали максимальной дальности в 7600 километров. Некоторые параметры ракет (например, стартовая масса) хорошо известны, а некоторые нет. Неизвестные параметры варьировались нами в некотором интервале для определения чувствительности результатов к значению этих параметров. Таким образом мы убедились в надежности наших моделей и, в особенности, в воспроизводимости значений важных производных от дальности.

Полученный при расчетах по программе про-

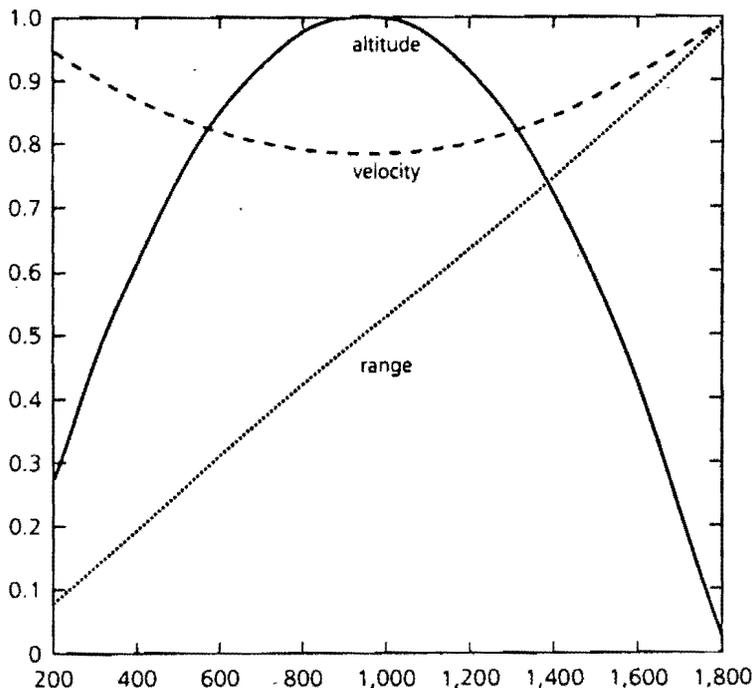


Рисунок 7

Рассчитанные по программе параметры траектории профиля баллистического участка полета "стандартной" ракеты D-5. Временная (горизонтальная) ось сжата примерно в 10 раз по сравнению с рис. 6. Полное время полета составляет примерно 28 минут. Масштабные параметры для дальности, высоты и скорости соответственно равны 7600 км, 1040 км и 6,7 км/сек.

филь полета ракеты D-5 показан на рис. 6 и 7, соответствующих активному и баллистическому участкам полета. Полное время полета равно 28 минутам, высота апогея равна 1040 км. На конечном участке траектории угол с горизонталью равен 25 градусам при скорости в 6,7 км/сек (без учета сопротивления воздуха движению ГЧ).

Результаты расчетов по модели ракеты

Используя нашу компьютерную модель, мы рассмотрели зависимость дальности ракеты от удельного импульса и выводимой нагрузки. Для оценки влияния дальности ракеты на живучесть системы мы рассчитали также размеры области патрулирования ПЛАРБ и долю времени, в которой основные цели находятся в пределах досягаемости, в зависимости от удельного импульса и выводимой нагрузки.

Зависимость дальности от удельного импульса. Изменяя тягу ступени, не меняя длительности ее горения, мы можем исследовать влияние изменений удельного импульса  $I_{sp}$  топлива этой ступени. На

рис. 8 показаны результаты этих расчетов при изменении топлива только на третьей ступени ракеты D-5, на второй и третьей ступенях, и на всех трех ступенях. Предполагая, что удельный импульс недетонирующего топлива класса 1.3 на 10 секунд меньше, чем у топлива класса 1.1, мы получим, что соответствующее уменьшение дальности модифицированной ракеты D-5 с восемью ГЧ Mk5 составит 200 км (2,7 процента), 650 км (8,5 процента) и 1065 км (14 процентов)<sup>69</sup>. Эквивалентное уменьшение дальности модифицированной ракеты С-4 с восемью ГЧ Mk4 составит 300 км (3,9 процента), 700 км (9,3 процента) и 1040 км (14 процентов).

Мы рассмотрели также конфигурацию ракеты D-5, в которой снята третья ступень (вместе с топливом и инертным материалом)<sup>70</sup>. В этом случае дальность ракеты составит 6 220 км, или 82 процента от номинальной дальности. Если в этой конфигурации убрать 3 ГЧ Mk5, то дальность возрастет до 7 670 км (несколько больше номинальной). В другой модификации, в которой топливо третьей ступени заменено равным количеством инертного материала,

Таблица 9  
Влияние снятия ГЧ Mk5 на дальность "стандартной" ракеты D-5

Количество ГЧ Mk5	Выводимая нагрузка	Дальность	Увеличение
штуки	килограммы	километры	проценты
8	2 700	7 600	0
7	2 525	8 280	9
6	2 350	9 110	20
5	2 175	10 150	34
4	2 000	11 520	52
3	1 825	13 480	78

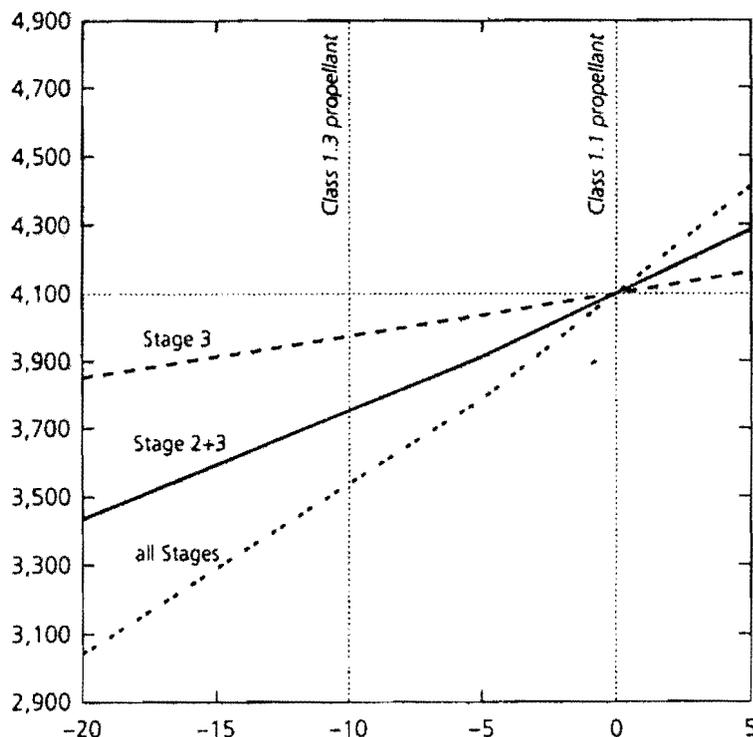


Рисунок 8

Дальность ракеты D-5 в зависимости от удельного импульса топлива. Данные для  $\Delta I_{sp} = 0$  соответствуют стандартной модели ракеты D-5 с восемью боеголовками Mk5 с номинальной дальностью в 7600 км (4100 морских миль). Дальность на оси ординат рисунка выражена в морских милях (100 морских миль соответствуют 185,2 километра). Удельный импульс топлива класса 1.3 примерно на 10 секунд меньше аналогичного топлива класса 1.3. Уменьшение дальности при использовании топлива класса 1.3 соответственно равно 200 км (2,7 процента), 650 километров (8,5 процента) и 1065 километров (14 процентов).

дальность падает катастрофически, до 3520 км.

*Зависимость дальности от выводимой нагрузки.* Мы рассчитали зависимость дальности от выводимой нагрузки для нескольких вариантов модели ракеты. При каждом значении выводимой нагрузки начальный угол при пуске, соответствующий началу гравитационного поворота первой ступени, подбирался для достижения максимальной дальности по траектории минимальной энергии. Во всех случаях этот угол лежал в пределах нескольких десятых долей градуса от номинального значения в 2,6 градуса от вертикали. Для "стандартной" (неизменной) ракеты с номинальной выводимой нагрузкой в 2700 кг уменьшение дальности на каждый килограмм дополнительной нагрузки составляет 3,7 км.

В табл. 9 и на рис. 9 показано, как будет увеличиваться дальность ракеты D-5 при уменьшении количества боеголовок. Как и следовало ожидать,

снятие боеголовок приводит к заметному увеличению дальности. При этом из-за увеличения скорости полета возрастает действующая на ракету максимальная сила торможения<sup>12</sup>. Интересно отметить, что потеря дальности из-за замены топлива на третьей ступени на топливо класса 1.3 может быть компенсирована снятием всего лишь одной ГЧ Mk5. Если исключить третью ступень, то номинальная дальность может быть воостановлена при снятии трех ГЧ Mk5, или четырех ГЧ Mk21. И, наконец, даже без третьей ступени восемь ГЧ Mk4 могут быть доставлены на дальность, несколько большую номинальной. В этом случае снятие ГЧ Mk4 может привести к существенному увеличению дальности.

На рис. 10 и в табл. 10 показаны результаты расчетов для ракеты С-4. Сравнивая табл. 9 и 10, мы отметим, что дальность стандартной ракеты С-4 с заданным числом ГЧ Mk4 примерно такая же, как

Таблица 10  
Влияние снятия ГЧ Mk4 на дальность "стандартной" ракеты С-4

Количество ГЧ Mk4	Выводимая нагрузка	Дальность	Увеличение
штуки	килограммы	километры	проценты
8	1 400	7 600	0
7	1 305	8 280	9
6	1 210	9 130	20
5	1 115	10 180	34
4	1 020	11 620	53

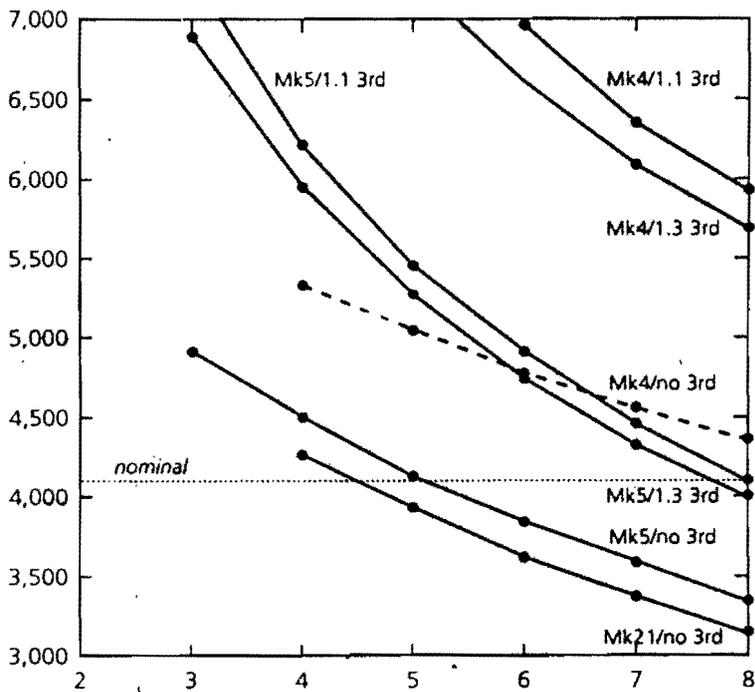


Рисунок 9

Дальность ракеты D-5 при различных конфигурациях и разном количестве ГЧ. Кривые соответствуют "стандартной" ракете D-5 с ГЧ Mk4 или Mk5, модифицированной ракете D-5 с топливом класса 1.3 на третьей ступени с ГЧ Mk4 или Mk5, и модифицированной ракете D-5 без третьей ступени с ГЧ Mk4, Mk5 или Mk21. На оси ординат рисунка показана дальность ракеты в морских милях (100 морских миль соответствуют 185,2 километрам). Пунктирная горизонтальная линия соответствует номинальной дальности в 4100 морских миль, или 7600 километров.

дальность ракеты D-5 с тем же числом ГЧ Mk5. При том же числе ГЧ дальность модифицированной ракеты С-4 с топливом класса 1.3 на третьей ступени будет на 75 - 90 км меньше, чем дальность так же модифицированной ракеты D-5 с ГЧ Mk5. В нашей модели третья ступень ракеты С-4 дает большую часть полной скорости, чем третья ступень ракеты D-5; поэтому дальность ракеты С-4 при использовании топлива с меньшим значением  $I_{sp}$  уменьшается в большей степени. Это обстоятельство проявляется еще сильнее в модификации без третьей ступени, где дальность ракеты С-4 с тем же количеством ГЧ значительно меньше, чем у ракеты D-5.

*Зависимость возможного района патрулирования от выводимой нагрузки.* Важным следствием изменения дальности является изменение площади района патрулирования, из которого подводная лодка может поразить заданные цели. В некоторых моделях ПЛО площадь района патрулирования ПЛАРБ непосредственно связана с площадью области, которая должна быть "прочесана" силами противника для обнаружения и уничтожения ПЛАРБ, и поэтому непосредственно связана с живучестью ПЛАРБ. Мы рассчитаем площадь области патрулирования предполагая, что основными целями являются ракеты SS-18, и что все открытые воды Атлантического и Тихого океанов в пределах дальности до этих целей доступны ПЛАРБ. Мы не учитываем таких параметров, как глубина океана, топография океанского дна, близость к силам противника или к дружественным силам, и других, которые могут повлиять на возможность обнаружения и на живучесть.

На рис. 11 показаны шахты SS-18 и границы областей в Атлантическом и Тихом океанах, из которых подводные лодки системы "Трайидент" способны поразить эти цели при дальности ракет в 7600 км. Карта показана в проекции Меркатора, которая удобна для представления общей ситуации, но сильно искажает площади. Последующие карты, представленные в этой статье, представлены в проекциях равной площади, для которых равенство двух площадей на карте соответствует равенству двух площадей на земной поверхности.

Наши расчеты являются чисто геометрическими (т.е., они основаны на расчете расстояния от точки на поверхности океана до цели), за исключением одного фактора: мы принимаем в расчет вращение Земли. Любая ракета, запущенная в восточном направлении (например, из Атлантического океана в Россию) в направлении к цели с большей географической широтой, получит приращение в скорости из-за вращения Земли в направлении с запада на восток. Скорость вращения Земли меняется с 0,46 км/сек на экваторе до 0,3 км/сек в точке запуска с широтой 50 градусов. Эффективное приращение скорости меньше этой величины, поскольку сама цель также вращается, удаляясь от точки запуска. Ракеты, запущенные из Тихого океана, теряют дальность, если они запускаются из точек, расположенных южнее цели.

Мы выбираем северный полярный круг как границу Атлантического океана. Мы не делали никаких расчетов площади патрулирования в Северном Ледовитом океане, поскольку полагали, что командиры

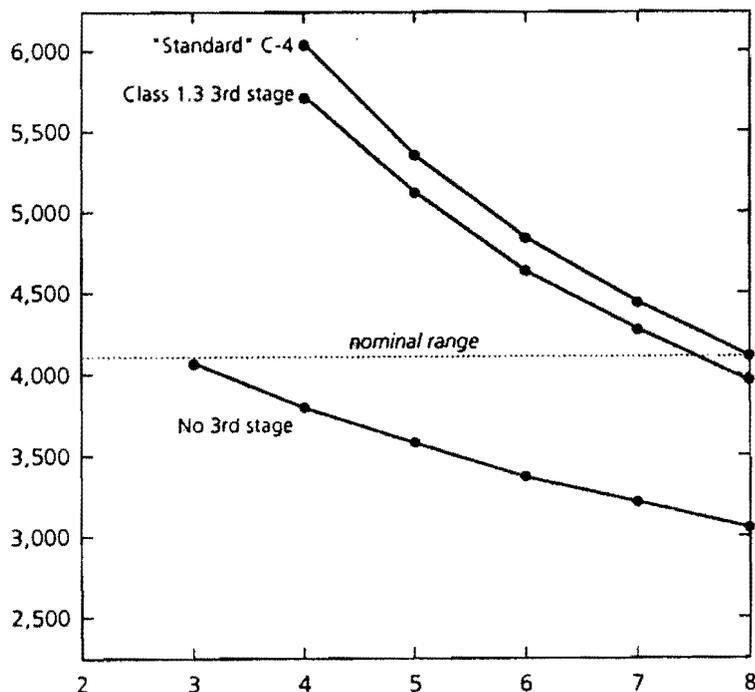


Рисунок 10

Дальность ракеты С-4 при различных конфигурациях и разном количестве ГЧ. Кривые соответствуют "стандартной" ракете С-4 с ГЧ Mk4, модифицированной ракете С-4 с топливом класса 1.3 на третьей ступени с ГЧ Mk4, и модифицированной ракете С-4 без третьей ступени с ГЧ Mk4. На оси ординат рисунка показана дальность ракеты в морских милях (100 морских миль соответствуют 185,2 километрам). Пунктирная горизонтальная линия соответствует номинальной дальности в 4100 морских миль, или 7600 километров.

американских ПЛАРБ будут опасаться патрулировать в непосредственной близости от портов базирования атакующих подводных лодок противника. Кроме того, значительная часть Северного Ледовитого океана либо покрыта льдом, либо слишком мелка, что затрудняет скрытое плавание с возможностью нанесения ракетного удара в любое время. Рис. 12 показывает, тем не менее, что шахты SS-18 исключительно уязвимы при атаке из полярных районов, даже при значительном уменьшении дальности ракет.

Еще одна область, которой могут избегать подводные лодки "Трайдент", - это Средиземное море. Первый ее недостаток - это неприятная "ловушка" в Гибралтарском проливе. Кроме того, замкнутое пространство и большая интенсивность движения по поверхности уменьшает привлекательность Средиземного моря для подводных лодок, командиры которых предпочитают большие пространства открытого океана, в которых можно тихо передвигаться, внимательно слушая противника. По тем же причинам мы исключаем из анализа Балтийское море.

Результаты наших расчетов приведены в табл. 11 и 12 и показаны на рис. 13, 14 и 15. Полезно представить результаты расчетов для двух групп ракет SS-18: трех восточных районов (Алейск, Ужур и Жангиз-Тобе), и трех западных (Домбаровский, Карталы и Имени Гастелло), которые находятся на расстоянии примерно в 1200 километров. Так, например, в табл. 11 показано, что для поражения целей западной группы ракетами D-5 при выводимой нагрузке в 2900 кг доступны 10,9 миллиона квадратных километров Атлантического океана. Это соответ-

ствует уменьшению площади патрулирования на 26 процентов по сравнению с номинальной выводимой нагрузкой в 2700 кг. Точность расчетов оценивается в 2 процента; она обусловлена размером сетки, исключением небольших островов, и представлением географических особенностей конечными многоугольниками. Для сравнения мы отметим, что полная площадь земной поверхности равна  $500 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>, площадь океанов равна  $350 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>, площадь США равна  $9,5 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>, и площадь штата Аляска равна  $1,5 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>.

Площадь патрулирования, доступная ПЛАРБ "Трайдент" в Тихом океане, зависит от средней скорости ПЛАРБ и длительности патрулирования. На рис. 13 и 14 показано максимальное расстояние, на которое может удалиться подводная лодка от своей базы при 70-суточном патрулировании и типичной скорости плавания в 5 и 10 узлов. При скорости в 5 узлов она может достичь около половины возможного района патрулирования. В атлантическом океане ПЛАРБ со скоростью 5 узлов может патрулировать во всем доступном районе.

#### Длительность оперативного патрулирования ПЛАРБ

Любое уменьшение дальности ракеты приведет к увеличению длительности перехода подводной лодки в район досягаемости определенной группы целей. Типичный цикл ПЛАРБ "Трайдент" включает в себя выход в море, переход в район оперативного патрулирования, его проведение, возвращение на базу, и береговое обслуживание. Типичная продол-

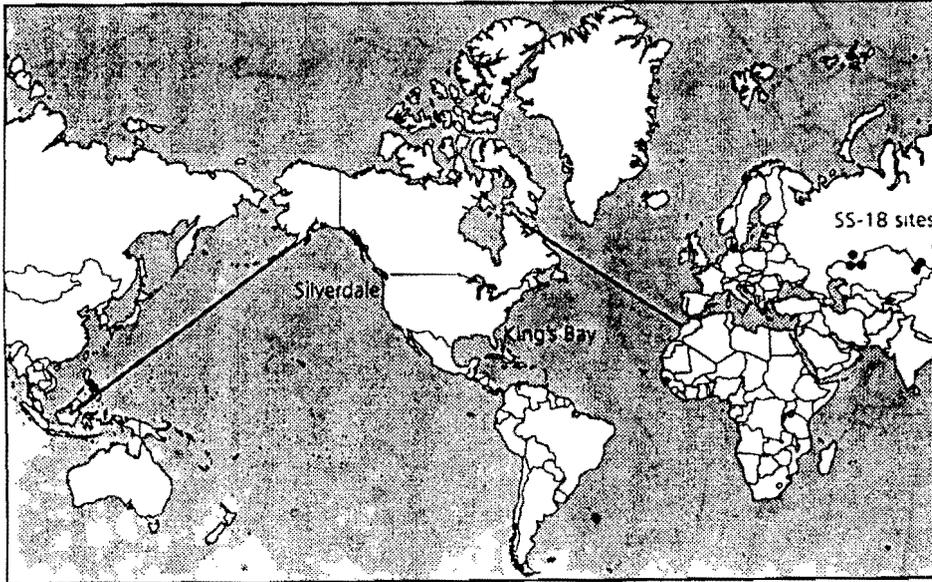


Рисунок 11

Шесть районов базирования ракет SS-18. Кривые показывают границы областей Атлантического и Тихого океанов, из которых подводная лодка "Трайдент" с дальностью ракет в 7600 километров способна поразить все шесть районов базирования. Проекция Меркатора искажает представление площади земной поверхности.

Жизнеспособность цикла составляет 95 суток, из которых 70 суток подводная лодка находится в море. Типичная крейсерская скорость подводной лодки "Трайдент" равна 5 узлам (9 км/час), при которой шум лодки минимален, а эффективность работы буксируемого гидролокатора максимальна.

Мы определим "длительность оперативного патрулирования" как количество проведенных в море суток, в течение которых подводная лодка находится в пределах дальности ракет от определенной группы целей. Эта величина зависит от дальности ракеты, расстояния, которое должно быть пройдено подводной лодкой до выхода в точку, из которой может быть поражена цель, и скорости перемещения, при которой вероятность обнаружения лодки минимальна. Как правило, набор целей ПЛАРБ формируется таким образом, что на ранних стадиях патрулирования она получает цели, географически доступные из района расположения базы, а в дальнейшем, на больших расстояниях от базы, набор целей изменяется, и в него включаются цели, расположенные в глубинных областях, более удаленных от океанов. Мы предположим при наших обсуждениях, что подводная лодка движется с постоянной скоростью в пять узлов. Умножая длительность выхода в район патрулирования на два, и вычитая результат из общей продолжительности плавания в 70 суток, мы получаем длительность активного патрулирования в районе досягаемости набора целей ракет SS-18.

В табл. 13 приведены результаты наших расчетов для различных конфигураций ракет. Для атаки ракет SS-18 базирование в Силвердейле в целом более благоприятно, чем базирование в Кингз Бэй, с различием от 0 до 14 суток, в зависимости от дальности ракеты. При дальности ракеты более 10 400 км максимальная длительность активного патрулирования в 70 суток достигается независимо от расположения базы. При дальности от 9 800 до 10 400 км, различие в длительности патрулирования не превышает шести суток. При дальности от 7 600 до

8 300 км различие существенно: длительность активного патрулирования базирующиеся в Силвердейле ПЛАРБ больше на две недели. Однако, при уменьшении дальности до 7 400 км и менее преимущество базирования ПЛАРБ в Силвердейле не превышает трех-четырех суток.

Мы проверили также чувствительность наших результатов по отношению к скорости ПЛАРБ. При увеличении скорости патрулирования до 10 узлов длительность перехода уменьшается вдвое при соответствующем увеличении длительности активного патрулирования, причем большее увеличение наблюдается при большем времени перехода в район патрулирования. При базировании длительность активного патрулирования в зависимости от дальности ракеты меняется от максимума в 70 суток до номинальной длительности в 61 сутки при дальности в 7 600 км до минимума в 43 суток. При базировании в Кингз Бэй эти величины меняются соответственно до 70, 53 и 41 суток. Таким образом, в определенных конфигурациях увеличение скорости перехода может привести к значительному увеличению длительности активного патрулирования.

#### Сводка результатов

1.) Уменьшение числа боеголовок на ракете приводит к значительному увеличению дальности. Ракеты С-4 и D-5, на которых соответственно установлено по 4 боеголовки Mk4 и Mk5, смогут достичь целей, удаленных на 11 100 км и далее.

2.) Несколько вариантов с четырьмя боеголовками на ракете, соответствующих договору СНВ-II, позволят ПЛАРБ находиться в области досягаемости шахт с ракетами SS-18 на протяжении всего 70-суточного периода патрулирования.

3.) Уменьшение дальности ракеты сопровождается значительно более сильным уменьшением площади возможного района патрулирования: так, например, уменьшение дальности на 5 процентов приводит к уменьшению площади патрулирования для

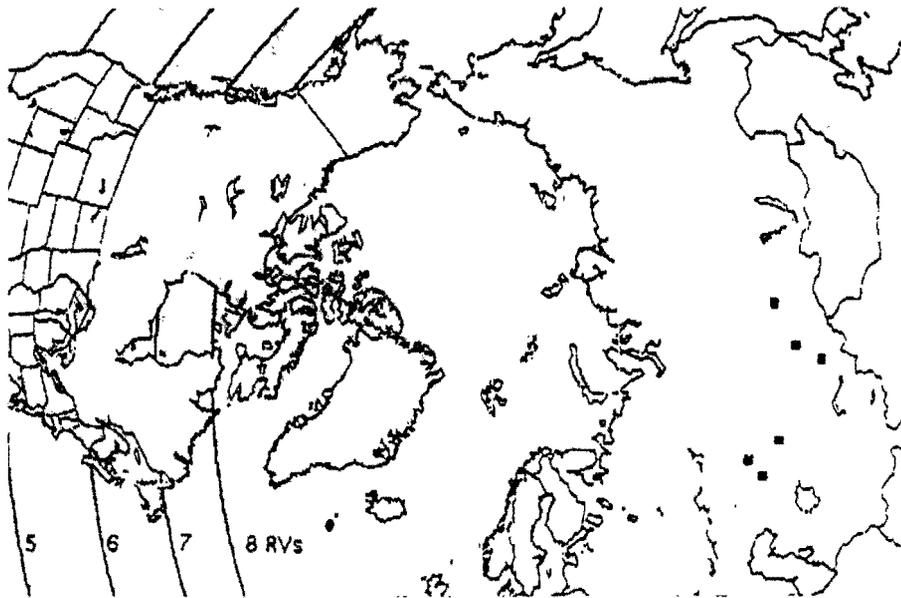


Рисунок 12

Карта доступности шести районов базирования SS-18 из Северного Ледовитого океана. Учтена поправка на вращение Земли. Полярно-азимутальная проекция точно представляет площади. Четыре кривых нумеруются в соответствии с количеством ГЧ Mk5 на "стандартной" ракете D-5. Кривая для 8 ГЧ соответствует номинальной дальности в 7600 км. Кривые соответствуют также "стандартной" ракете С-4 с тем же количеством боеголовок Mk4.

поражения наиболее удаленных ракет SS-18 при базировании в Кингз Бэй на 25 процентов.

4.) При базировании в Силвердейле уменьшение дальности менее, чем до 7 600 км, приводит к резкому уменьшению длительности активного патрулирования, чего не наблюдается при базировании в Кингз Бэй.

5.) Применение ракетного топлива класса 1.3 в третьих ступенях ракет С-4 и D-5 приводит к уменьшению дальности от 3 до 4 процентов и к уменьшению площади патрулирования от 8 до 13 процентов. Эти потери могут быть скомпенсированы при снятии одной ГЧ из восьми.

6.) Если не уменьшать число ГЧ на ракете, то исключение третьей ступени приведет к существенному уменьшению дальности, площади района патрулирования и длительности активного патрулирования. Для модифицированной ракеты D-5 без третьей ступени и с восемью ГЧ Mk5 дальность уменьшится примерно на 20 процентов, а площадь патрулирования - на величину от 50 до 75 процентов. Номинальная дальность может быть восстановлена при снятии трех Mk5. Подобная система способна доставить 8 ГЧ Mk4 на расстояние в 7 600 км и более.

7.) Модифицированная ракета С-4 без третьей ступени будет обладать номинальной дальностью только при снятии трех ГЧ Mk4 из восьми. Поэтому вариант без третьей ступени может оказаться менее приемлемым для ракеты С-4, чем для D-5.

8.) Вообще говоря, пусковые шахты SS-18 значительно более доступны из Тихого океана, чем из Атлантического. Однако, другие важные объекты в Европейской части бывшего Советского Союза более доступны из Атлантического океана.

#### V. ВАРИАНТЫ МОДИФИКАЦИИ РАКЕТ "ТРАЙДЕНТ" И ИХ БОЕГОЛОВОК

Связанные с безопасностью модификации ракет С-4 и D-5, которые могут включать изменение конструкции ступеней, создание новых боеголовок, или новых головных частей, могут повлиять на стоимость и планы работ по программе "Трайидент". Ниже приводится предварительный анализ стоимости, но к его результатам следует относиться с осторожностью. Точность наших оценок скорее близка к "коэффициенту два", а не к "десяти процентам", и поэтому их следует использовать в основном для сравнения различных вариантов.

##### Разработка новой третьей ступени и другие модификации ракеты

Для применения топлива класса 1.3 в третьей ступени ракет необходимо провести программу исследований и разработок, включающую наземные и летные испытания, изготовить новое топливо с необходимыми свойствами, разработать новую конструкцию ступени и обеспечить ее совместимость с остальными системами ракеты. Стоимость программы может лежать в пределах от 200 до 500 миллионов долларов, и, кроме того, надо будет провести от 5 до 15 летних испытаний стоимостью по 30 миллионов долларов каждое. Для завершения разработки и перехода к производству потребуется от трех до пяти лет. Стоимость приобретения новой третьей ступени (без учета стоимости исследований и разработок) составит около 0,7 миллиона долларов.

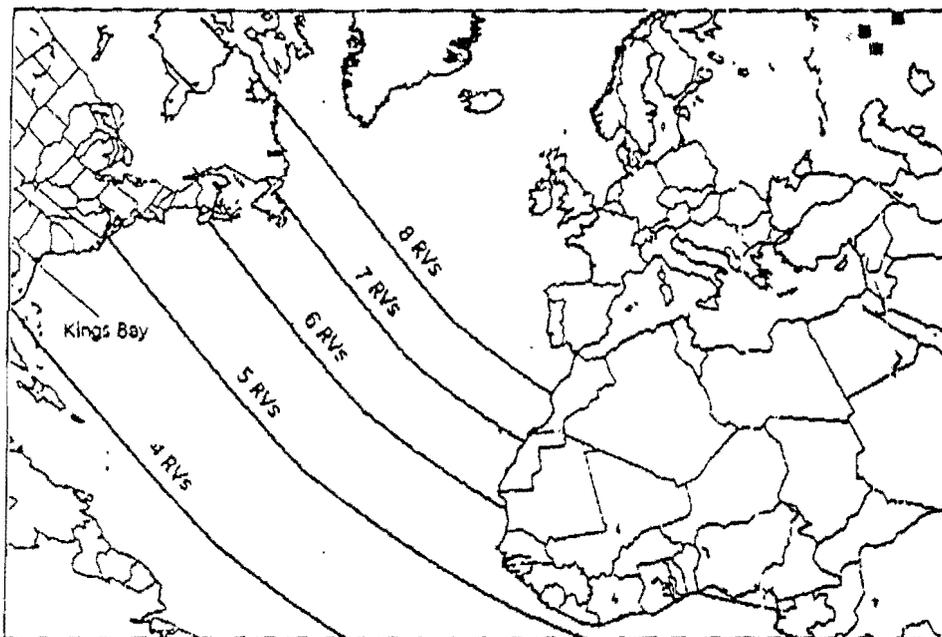


Рисунок 13а

Кривые, показывающие возможные области патрулирования в Атлантическом и Тихом океанах, из которых доступны шесть районов базирования ракет SS-18 для "стандартных" ракет D-5 с указанным на кривых числом ГЧ Mk5. На каждой карте показаны только три района базирования; масштаб для обеих карт одинаков. Эти кривые соответствуют также "стандартной" ракете С-4 с тем же количеством боеголовок Mk4. На Тихом океане показаны кривые, показывающие расстояние, на которое могут удалиться патрулирующие ПЛАРБ от Силвердейла при скорости в 5 и 7 узлов за время половины 70-суточного патрулирования. Они позволяют грубо оценить долю расчетной области патрулирования, доступную ПЛАРБ во время плавания с указанной средней скоростью. Проекция Альберса (с двумя стандартными параллелями) искажает географические особенности, но точно представляет площади

Альтернативный подход заключается в снятии третьей ступени ракет С-4 или D-5 и использовании конфигурации "чистой палубы"<sup>75</sup>. Если не уменьшить количества ГЧ на ракете, такая операция приведет к заметному уменьшению дальности. Однако, программа разработки, предусматривающая снятие третьей ступени, будет значительно более сложной, чем это может показаться. Без третьей ступени и нескольких боеголовок ускорение ракеты в нижней части атмосферы будет происходить намного быстрее, что приведет к увеличению динамического давления и силы торможения. Может измениться также положение центра тяжести, что приведет изменению летных характеристик и потребует переделки системы управления. Имеющаяся третья ступень с конфигурацией "сквозь палубу" несет носовой обтекатель, так что при ее снятии потребуются дополнительная несущая конструкция. Потребуется программа разработок, подтверждающая, что проведенные модификации не приведут к неприемлемому ухудшению тактико-технических характеристик и надежности ракеты. Мы оценили, что для подтверждения возможности снятия третьей ступени потребуется программа разработок продолжительностью от двух до четырех лет и стоимостью около 500 миллионов долларов, включающая пять летних испытаний. Стоимость переоснащения и изготовления новых систем составит около 0,5 миллиона долларов на одну ракету.

Замена топлива третьей ступени D-5 и С-4 на инертный балласт потребует минимальных изменений в конструкции ракеты. Это приведет к некоторому выигрышу, поскольку во время работы двигателя второй ступени летные характеристики и мас-

совые параметры будут такими же, как в номинальной конфигурации. Однако, такой вариант скорее всего будет неприемлемым из-за существенного уменьшения дальности и возможностей разведения боеголовок, даже если будут сняты четыре ГЧ.

#### Разработка новой ядерной боеголовки

Обычно разработка новой ядерной боеголовки требует пяти лет исследований и разработок при стоимости от 500 до 750 миллионов долларов. Однако, при срочной необходимости может быть принята ускоренная программа, при которой разработки могут быть проведены быстрее, например, за три года. Потребуется провести испытания неядерных сборок взрывчатого вещества и от трех до пяти исследовательских ядерных испытаний. Если можно будет приспособить имеющуюся конструкцию боеголовки с НВВ, то стоимость исследований и разработок может быть меньше, а требования к ядерным испытаниям уменьшены. Например, большая часть разработки боеголовки W89, предназначенной для ликвидированного проекта ракеты SRAM II, была завершена. Для окончания этих работ с целью использования боеголовки в стратегических ГЧ, таких, как Mk5, потребуется еще около 200 миллионов долларов. Создание боеголовки с НВВ, совместимой с ГЧ Mk4, скорее всего, потребует новой программы разработки, поскольку не имеется готовых проектов боеголовок нужного веса и размеров.

Стоимость приобретения одной боеголовки составляет около 0,5 миллиона долларов. Эта оценка включает стоимость повторного изготовления, оплаты рабочей силы и приобретения материалов. Одна-

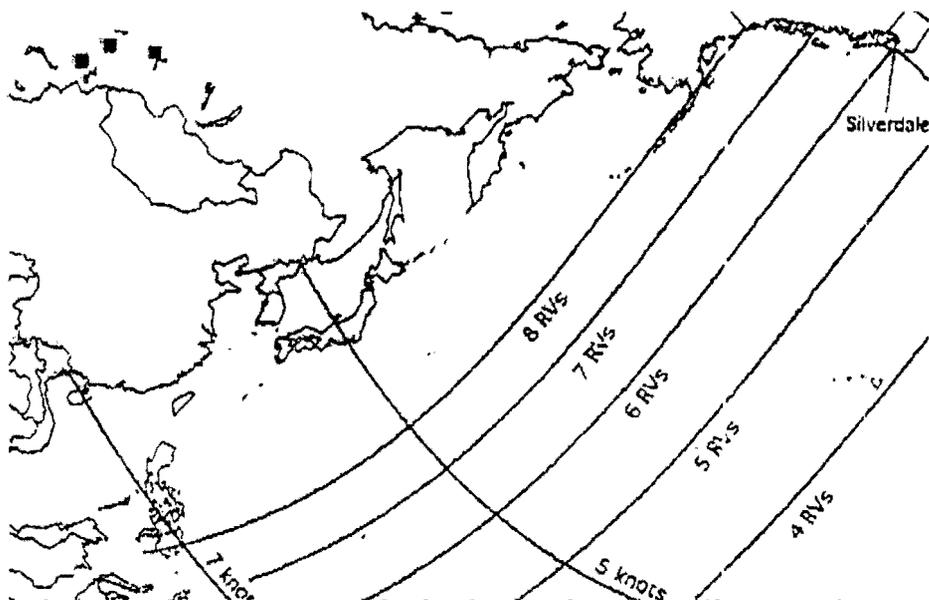


Рисунок 136

ко, производство новых боеголовок, потребует функционирования производственного комплекса Министерства энергетики, и, если нельзя будет использовать плутониевые компоненты из снимаемых с вооружения боеголовок, то необходимо будет либо восстановить производство плутониевых компонентов в Роки-Флэтс, либо заменить его<sup>76</sup>.

#### Разработка новой ГЧ

Если новая боеголовка с НВВ не будет совместима с имеющимися ГЧ, то потребуются программа разработки, которая продлится от трех до пяти лет и потребует от 5 до 10 летних испытаний. Полная стоимость разработки составит от одного до двух миллиардов долларов. Стоимость приобретения новой ГЧ и сопутствующих неядерных подсистем составит около 0,2 миллиона долларов. Ни один из рассматриваемых нами вариантов модификаций не потребует разработки новой ГЧ.

#### Варианты модификации БРПЛ "Трайдент"

Поскольку система "Трайдент" останется основной американских сил ядерного сдерживания на протяжении значительной части следующего столетия, важно оценить стоимость и преимущества различных вариантов повышения безопасности. Базовым вариантом сравнения служат текущие программы С-4 и D-5. Во всех вариантах первые две ступени ракет с топливом класса 1:1 остаются без изменений<sup>77</sup>.

*Вариант 1 (базовый): без изменений существующих систем БРПЛ.* В базовом варианте предполагается, что восемь ПЛАРБ "Трайдент" с 24 ракетами С-4 на каждой базируются в Силвердейле, а 10 ПЛАРБ с 24 ракетами D-5 на каждой базируются в Кингз Бэй. Патруль подводных лодок проводится в текущем режиме. Расчет дополнительных затрат и временных задержек производится относительно этого варианта.

Таблица 11

Влияние выводимой нагрузки на площадь области патрулирования в пределах дальности от основных целей подводных лодок системы "Трайдент", базирующихся в Атлантическом и Тихом океанах. Процентные значения берутся по отношению к "стандартной" ракете D-5 с восемью ГЧ Mk5, выводимой нагрузкой в 2700 кг и дальностью в 7600 км. Данные в первых пяти строках таблицы относятся также к "стандартной" ракете С-4, оснащенной соответственно 4, 5, 6, 7 или 8 ГЧ Mk4. Не вся расчетная область патрулирования может оказаться доступной; это зависит от средней скорости патрулирования.

Количество ГЧ; выводимая нагрузка, кг	Дальность (км)	Площадь области патрулирования ПЛАРБ, млн. км <sup>2</sup>				
		SS-18 (восточные)		SS-18 (западные)		SS-19
		Атлантика	Тихий океан	Атлантика	Тихий океан	Атлантика
4Mk5;2000	11600(153%)	45,6(490%)	78,3(233%)	(>400%)	67,8(346%)	-
5Mk5;2175	10700(134%)	26,7(287%)	61,8(184%)	43,8(296%)	50,2(256%)	-
6Mk5;2350	9100(120%)	17,5(188%)	50,1(149%)	30,0(195%)	38,2(195%)	44,3(163%)
7Mk5;2525	8300(109%)	13,2(142%)	41,6(124%)	18,7(126%)	27,6(141%)	34,5(127%)
8Mk5;2700	7600(100%)	9,3(100%)	33,6(100%)	14,8(100%)	19,6(100%)	27,1(100%)
2800	7300(95%)	7,0(75%)	28,9(86%)	12,6(85%)	15,7(86%)	22,8(84%)
8Mk21;2900	7000(92%)	5,7(61%)	26,1(78%)	10,9(74%)	13,2(67%)	20,5(76%)

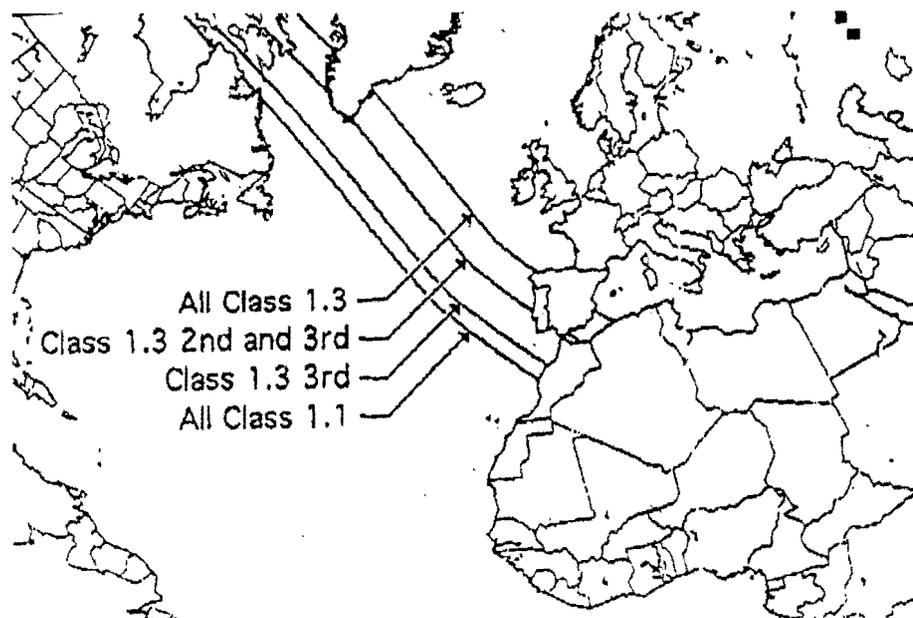


Рисунок 14а

Четыре кривые, показывающие возможные области патрулирования в Атлантическом и Тихом океанах, из которых доступны шесть районов базирования ракет SS-18 для различных конфигураций ракет. Масштаб для обеих карт одинаков. Внешняя кривая соответствует "стандартным" ракетам С-4 или D-5 с восемью ГЧ при номинальной дальности в 7600 км. Другие кривые представляют конфигурацию ракеты D-5 с топливом класса 1.3 только на третьей ступени, на второй и третьей ступенях, или на всех ступенях, соответствующие уменьшению дальности в 200 км, 650 км или 1065 км. Соответствующие кривые для С-4 практически перекрываются с кривыми для D-5.

*Вариант 2: оснащение имеющихся систем С-4 и D-5 боеголовками с НВВ.* В варианте 2 изменений в имеющихся БРПЛ не производится, но на них будут размещаться две новых боеголовки с НВВ и средствами повышения пожаробезопасности, совместимые с ГЧ Mk4 и Mk5. Ракеты С-4 и D-5 будут оснащены четырьмя или восемью ГЧ каждая, так что общее число боеголовок системы "Трайидент" составит 1750 или 3500.

*Вариант 3: оснащение имеющихся систем С-4 и D-5 боеголовками с НВВ и ослабление ударной волны.* Этот подход будет зависеть от возможности установки поглощающих ударную волну материалов между третьей ступенью и ГЧ для защиты боеголовки с НВВ и предотвратить сопровождающую детонацию при взрыве ракеты-носителя<sup>78</sup>.

*Вариант 4: разработка новых третьих ступеней С-4 и D-5 топливом класса 1.3.* На модифицированных ракетах С-4 и D-5 будут установлены вновь разработанные третьи ступени с топливом класса 1.3. Здесь могут быть использованы существующие боеголовки (без НВВ) W76 и W88.

*Вариант 5: новые третьи ступени С-4 и D-5 и боеголовки с НВВ.* Этот вариант является комбинацией новых третьих ступеней с топливом класса 1.3 и новых боеголовок с НВВ и средствами повышения пожаробезопасности. Это понизит вероятность расщепления плутония при пожарах и ударах. Вероятно, что риск нештатного ядерного взрыва будет находиться на максимально низком практически возможном уровне.

*Вариант 6: модифицированные ракеты без тре-*

Таблица 12

Влияние удельного импульса топлива  $I_{sp}$  на площадь области патрулирования ПЛАРБ. Предполагается, что для топлива класса 1.3 уменьшение удельного импульса  $\Delta I_{sp} = -10$  сек. Процентные значения берутся по отношению к "стандартной" ракете D-5 с восемью ГЧ Mk5, выводимой нагрузкой в 2700 кг и дальностью в 7600 км. Данные в первых пяти строках таблицы относятся также к "стандартной" ракете С-4, оснащенной восемью ГЧ Mk4, модифицированной для применения топлива класса 1.3 в различных ступенях.

Ракета	Дальность (км)	Площадь области патрулирования ПЛАРБ, млн. км <sup>2</sup>				
		SS-18 (восточные)		SS-18 (западные)		SS-19
		Атлантика	Тихий океан	Атлантика	Тихий океан	
Базовая D-5	7600(100%)	9,3(100%)	33,6(100%)	14,8(100%)	19,6(100%)	27,1(100%)
Класс 1.3; 3 ступень	7400(97%)	8,1(87%)	31,1(93%)	13,6(92%)	17,8(91%)	24,5(90%)
Класс 1.3; 2,3 ступени	6900(92%)	5,6(60%)	25,8(77%)	10,8(73%)	12,9(66%)	20,3(75%)
Класс 1.3; все ступени	6500(86%)	4,0(43%)	21,0(63%)	8,3(56%)	8,7(44%)	16,5(61%)

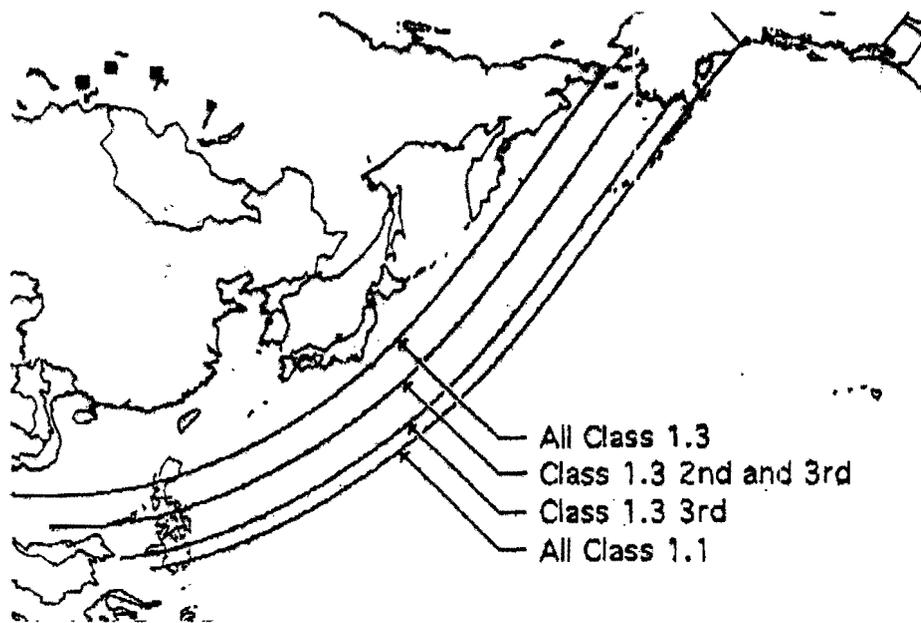


Рисунок 146

твей ступени. Третьи ступени БРПЛ ликвидируются и ГЧ располагаются в конфигурации "чистой палубы". Существующие ГЧ Mk4 и Mk5 могут остаться с имеющимися боеголовками, или быть оснащены новыми боеголовками с НВВ. При этом дальность значительно сократится, если только на ракете D-5 не будут установлены боеголовки Mk4, или их количество на каждой ракете не будет уменьшено.

*Вариант 7: полностью модифицированные ракеты D-5 с топливом класса 1.3 на третьих ступенях и уменьшенным количеством ГЧ с НВВ.* Это разновидность варианта 5, приведенная для сравнения стоимости. Она предусматривает разработку новой третьей ступени с топливом класса 1.3 для ракеты D-5, оснащение подводных лодок С-4 в Силвердейле модифицированными ракетами D-5, и размещение боеголовок с НВВ на ГЧ Mk4 и Mk5.

#### Анализ вариантов

В табл. 14 каждый из вариантов характеризуется количеством ПЛАРБ, несущих ракеты каждого типа, типом и количеством ГЧ на каждой ракете, и разницей в стоимости и времени выполнения относительно базового варианта. Увеличение стоимости лежит в пределах от 1,8 до 5,0 миллиардов долларов, а время, необходимое для полной разработки и производства первых образцов, может составить от двух до пяти лет.

Для оценки влияния модификаций на оперативные характеристики мы будем использовать результаты раздела IV. Поскольку возможности системы оцениваются на примере наиболее сложного набора целей, ракет SS-18, для каждого варианта мы рассматриваем ракеты D-5. Из-за более высокой точности ракеты D-5 с ГЧ Mk4 или Mk5 будет гораздо скорее выбрана для выполнения этой задачи поражения защищенных целей, чем ракета С-4.

В табл. 15 для каждого варианта с ракетами D-5 приведены значения дальности, площади области патрулирования, длительности активного патрулирования, числа поражаемых защищенных целей, и мгновенной возможности поражения защищенных

целей. В последних двух столбцах приводятся коэффициенты качества, относящиеся к способности варианта с ракетами D-5 поражать ракеты SS-18 при патрулировании в Атлантическом океане. В столбце "Поражаемые защищенные цели", приведено ожидаемое количество ракет SS-18, которые могут быть уничтожены одной ракетой D-5. Эта величина зависит от количества ГЧ на ракете, от точности ракеты (для D-5 эта величина предполагается равной 135 м), от мощности боеголовки, надежности системы (предполагается равной 0,9) и от живучести цели (предполагается равной 350 атм). Мы принимаем, что на каждую цель выделяется одна боеголовка системы "Трайидент". В столбце "Мгновенно поражаемые цели" приводится ожидаемое количество целей, уничтожаемых одной ракетой D-5 в течение короткого периода после получения приказа о запуске. Этот коэффициент качества характеризует состояние постоянной готовности системы и получается умножением коэффициента из предыдущего столбца на вероятность того, что в данный момент подводная лодка способна к атаке и находится на расстоянии от цели, меньшем дальности ее ракет<sup>19</sup>.

Рассмотрев наш набор вариантов, мы сделали следующие выводы:

1.) Если установить на ракету D-5 четыре ГЧ Mk4, или четыре ГЧ Mk5, или 8 ГЧ Mk4, то можно добиться значительного увеличения дальности, площади области патрулирования и длительности активного патрулирования по сравнению с базовым вариантом дальностью в 7 600 км.

2.) Ожидаемое количество защищенных целей, поражаемых одной ракетой, заметно уменьшается при установке на ракете D-5 четырех ГЧ вместо восьми, или уменьшении мощности ГЧ. Однако, довольно интересно, что ожидаемое число мгновенно поражаемых защищенных целей (основной критерий для "Трайдента" времен холодной войны) сравнительно мало зависит от того, установлено ли на ракете D-5 восемь ГЧ Mk5 или восемь ГЧ Mk4, или четыре ГЧ Mk5 вместо восьми. Уменьшение мощности в первом случае и уменьшение количества ГЧ во втором приблизительно компенсируются увеличе-

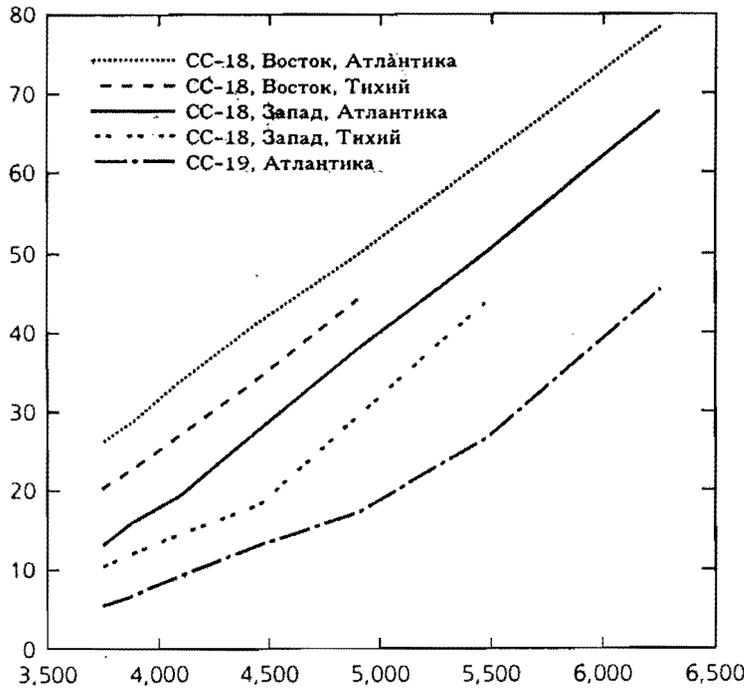


Рисунок 15

Зависимость площади патрулирования (в млн. км<sup>2</sup>) от дальности ракеты. Каждая кривая соответствует океану, в котором патрулируют подводные лодки, и заданному набору целей. Например, кривая "SS-18 из Тихого океана" представляет площадь области патрулирования в Тихом океане, для которой три восточных позиционных района ракет SS-18 лежат в пределах дальности БРПЛ. Учтены поправки на вращение Земли.

нием длительности активного патрулирования в вариантах с меньшей выводимой нагрузкой и большей дальностью.

3.) Если в ракетах С-4 и D-5 можно будет применить ослабление ударной волны, то вариант 3 представит сравнительно дешевый способ повышения безопасности ракетной системы и ее боеголовок.

4.) Варианты 5 и 6, в которых применяется третья ступень с топливом класса 1.3, либо третьей ступени нет вообще, вместе с боеголовками с НВВ, требуют примерно одинаковых затрат, и, вероятно, обеспечат примерно одинаковое увеличение безопасности. Однако, недогруженная ракета без третьей ступени будет менее приспособлена к возможному выходу из договора СНВ-II (возможно, при повышении активности ПЛО противника), чем ракета с третьей ступенью.

5.) Вариант 7 отличается от варианта 5 только тем, что подводные лодки С-4 в Силвердейле будут перевооружены ракетами D-5. При наших предположениях стоимость этого варианта будет меньше, потому что в этом случае потребуется только одна программа разработки третьей ступени с топливом класса 1.3.

6.) Переход к силам с одними ракетами D-5 может быть интересен не только по причине меньшей стоимости оснащения третьими ступенями с топливом класса 1.3. Во-первых, ослабление ударной волны скорее может оказаться возможным на ракетах D-5 с меньшими ГЧ Mk4 из-за наличия свободного места (и веса) для размещения поглощающих материалов. Во-вторых, можно будет использовать вариант без третьей ступени с меньшей дальностью при заданном числе боеголовок. В-третьих, можно увеличить возможность поражения шахт SS-18 или аналогичных защищенных целей в южной части Средней Азии при развертывании ракет D-5 в Тихом океане.

Нужно ли повышать безопасность системы "Трайидент"?

Если смысл в трате денег на модификации системы "Трайидент" для повышения ее безопасности? Простое упражнение в анализе степени риска может пролить свет на ответ на этот вопрос. Для любой потенциальной опасности следующее математическое выражение определяет мнение здравого смысла относительно разумности затрат на уменьшение риска:

$$V_{fix} = C \cdot P_A$$

где  $V_{fix}$  - соответствующие затраты на значительное уменьшение риска,  $C$  - стоимость предотвращаемого инцидента, и  $P_A$  - вероятность серьезного инцидента при отказе от каких-либо предупредительных мер.

Мы показали ранее, что величина  $V_{fix}$  лежит в пределах от 1 до 5 миллиардов долларов. Мы не можем рассчитать вероятность аварии с выбросом плутония, но мы можем очертить границы интервала вероятностей, которые соответствуют разумным инвестициям на повышение безопасности, рассматривая интервал возможной стоимости инцидента. Этот расчет включает несколько факторов: прямой ущерб от потери человеческих жизней, ковенные потери (например, ценность жизни человека для его друзей и семьи), потери стоимости собственности, стоимости дезактивационных работ и возмещения ущерба, возмestimые и невозмestimые потери затронутых кругов общественности, и стоимость самой системы "Трайидент", включающие, в том случае, если операции с системой "Трайидент" будут прекращены из-за аварии, связанное ослабление ценности стратегического сдерживания.

Предположим сначала, что при аварии в Силвердейле или Кингз Бэе реализуется близкий к худшему вариант рассеяния плутония, приводящий к

Таблица 13

Дальность и длительность активного патрулирования ПЛАРБ (в сутках, при максимуме в 70 суток), базирующихся в Силвердейле, штат Вашингтон, и в Кингз Бэй, штат Джорджия, при которой три ближайших позиционных района SS-18 находятся в пределах досягаемости, в зависимости от конфигураций ракет С-4 и D-5<sup>1</sup>.

Конфигурация ракет С-4 или D-5	Дальность (км)	Силвердейл		Кингз Бэй	
		Длина перехода, км	Активный патруль	Длина перехода, км	Активный патруль
<b>Базовая по СНВ-I</b>					
D-5/8 Mk5, С-4/8 Mk4	7600	1800	50,6	3100	36,4
D-5/8 Mk21	7000	3400	32,8	3800	29,3
D-5/8 Mk4	11000	0	70,0	0	70,0
<b>Базовая по СНВ-II</b>					
D-5/4 Mk5, С-4/4 Mk4	11600	0	70,0	0	70,0
D-5/4 Mk4	>12000	0	70,0	0	70,0
<b>Ослабление ударной волны<sup>2</sup></b>					
D-5/8 Mk5	7000	3400	32,8	3800	29,3
D-5/8 Mk4	9600	0	70,0	850	60,8
<b>D-5 с топливом класса 1.3 на третьей ступени</b>					
8 Mk5	7400	3000	37,5	3300	34,0
8 Mk4	10500	0	70,0	0	70,0
4 Mk5	11000	0	70,0	0	70,0
<b>С-4 с топливом класса 1.3 на третьей ступени</b>					
8 Mk4	7300	3100	36,5	3400	33,0
4 Mk4	10900	0	70,0	0	70,0
<b>Без третьей ступени</b>					
С-4/8 Mk4	5400	5100	15,2	5400	12,0
D-5/8 Mk21	5800	4700	19,4	5000	16,2
D-5/8 Mk5	6200	4300	24,0	4600	20,8
С-4/4 Mk4	7000	3400	33,0	3800	29,4
D-5/4 Mk21	7900	1500	54,2	2800	40,0
D-5/8 Mk4	8100	1300	55,8	2600	41,6
D-5/4 Mk5	8300	1100	58,6	2400	44,4
D-5/4 Mk4	9900	0	70,0	540	64,2

<sup>1</sup> Длина перехода - это минимальное расстояние, которое должна пройти ПЛАРБ до выхода в область досягаемости целей. Для расчета длительности активного патрулирования величина длины перехода увеличивается на 20 процентов и делится на скорость патрулирования, которая принимается равной пяти узлам.

<sup>2</sup> Масса средств ослабления ударной волны - 25 кг на ГЧ.

1000 последующих в будущем смертных случаях.

При анализе риска случайной смерти нередко придается стоимостное выражение основанное на желании личности заплатить определенную сумму для предотвращения опасности. Исследования показывают, что стоимость в интервале от 1 до 10 миллионов долларов за жизнь следует считать оправданной величиной<sup>80</sup>. Стоимость дезактивационных работ и других судебных затрат может составлять от 5 до 20 миллиардов долларов. Достаточно серьезная авария может привести к прекращению программы "Трайидент"; предположив, что полная стоимость программы "Трайидент" составит 150 миллиардов долларов, ожидаемые потери от такой аварии можно оценить в половину полной стоимости программы, или в 75 миллиардов долларов. Нижний предел потери стоимости программы можно оценить в 7,5 миллиарда долларов, положив вероятность прекращения программы в результате аварии в 10 процентов. Суммируя эти составляющие, мы оцениваем стоимость серьезной аварии в городском районе величиной от 15 до 100 миллиардов долларов. Поэтому из нашего простого уравнения следует, что затраты в 3 миллиарда долларов (среднее между границами в 1 и 5 миллиардов) для понижения опасности оправданы, если вероятность аварии лежит в пределах от 0,03 до 0,20.

На эту проблему можно посмотреть и с другой точки зрения: опасность ядерной войны может возрасти, если операции системы "Трайидент", наиболее живучей среди стратегических систем США, будут

прекращена из-за серьезной аварии. Хотя мы и полагаем, что ядерная война весьма маловероятна, и что она была такой даже во времена холодной войны, ее последствия могут быть достаточно катастрофичными для того, чтобы затраты на повышение безопасности системы "Трайидент" были оправданы. В самом деле, вероятность ядерной войны казалась достаточно большой во время холодной войны, чтобы оправдать затраты на создание системы "Трайидент".

Легко показать, что оправданность затрат на повышение безопасности для того, чтобы предотвратить увеличение опасности войны в связи с прекращением программы "Трайидент" определяется выражением:

$$V_{\text{fix}} \leq P_A \cdot P_L \cdot V_d$$

где  $V_{\text{fix}}$  - затраты на повышение безопасности (от 1 до 5 миллиардов долларов),  $P_A$  - вероятность аварии с рассеянием плутония,  $P_L$  - вероятность прекращения программы "Трайидент" в результате аварии и  $V_d$  - полная стоимость программы "Трайидент", равная 150 миллиардам долларов<sup>81</sup>. В этом случае затраты на повышение безопасности в 3 миллиарда долларов могут быть оправданы, если полагать, что вероятность прекращения программы "Трайидент" за время ее выполнения в 30 лет в результате серьезной аварии превышает 0,02.

Незачем говорить, что приведенный выше анализ является "оценкой на обратной стороне конверта".

Таблица 14

Сводка вариантов системы "Трайидент", их стоимости и задержки выполнения программы. В паре чисел, разделенных точкой с запятой, первое число соответствует положениям договора СНВ-I (восемь боеголовок на ракете), а второе - положениям договора СНВ-II (четыре боеголовки на ракете).

Количество ПЛАРБ	Ракета	Количество ГЧ на ракете	Количество боеголовок	Увеличение стоимости, млрд. долл.	Задержка, лет
<b>Вариант 1. Базовый (по СНВ-I и СНВ-II)</b>					
2; 4	D-5	8;4 Mk5/W88	400; 400	0 (номинальная)	0 (номинальная)
8; 6	D-5	8;4 Mk4/W76	1600; 600		
8	C-4	8;4 Mk4/W76	1600; 800		
<b>Вариант 2. Базовый + НВВ</b>					
9	D-5	8;4 Mk5/НВВ	1800; 900	3,1; 2,0	3 - 5
1	D-5	8;4 Mk4/НВВ	200; 100		
8	C-4	8;4 Mk4/НВВ	1600; 800		
<b>Вариант 3. Ослабление ударной волны + НВВ</b>					
10	D-5	8;4 Mk4/НВВ	2000; 1000	1,8; 1,8	3 - 5
8	C-4	8;4 Mk4/НВВ	1600; 800		
<b>Вариант 4. Топливо класса 1.3 на третьей ступени + ВВ</b>					
2; 4	D-5 (мод.)	8;4 Mk5/W88	400; 400	1,8; 1,8	3 - 5
8; 6	D-5 (мод.)	8;4 Mk4/W76	1600; 600		
8	C-4 (мод.)	8;4 Mk4/W76	1600; 800		
<b>Вариант 5. Топливо класса 1.3 на третьей ступени + НВВ</b>					
9	D-5 (мод.)	8;4 Mk5/НВВ	1800; 900	4,9; 3,8	3 - 5
1	D-5 (мод.)	8;4 Mk4/НВВ	200; 100		
8	C-4 (мод.)	8;4 Mk4/НВВ	1600; 800		
<b>Вариант 6. Без третьей ступени + НВВ (или ВВ)</b>					
9	D-5 (мод.)	8;4 Mk5/НВВ	1800; 900	4,7; 3,6	3 - 5
1	D-5 (мод.)	8;4 Mk4/НВВ	200; 100		
8 (ВВ)	C-4 (мод.)	8;4 Mk4/НВВ (ГЧ с ВВ)	1600; 800 (3600; 1800)		
<b>Вариант 7. Ракеты D-5 + топливо класса 1.3 на третьей ступени + НВВ</b>					
9	D-5 (мод.)	8;4 Mk5/НВВ	1800; 900	4,1; 3,0	3 - 5
9	D-5 (мод.)	8;4 Mk4/НВВ	1800; 900		

В нем предполагается, к примеру, что несколько миллиардов долларов заметно понизят вероятность аварии. В нем не принимается в расчет также, что "начальная" стоимость программы "Трайидент" в период после окончания холодной войны не может служить разумной исходной точкой для оценки добавочных затрат на повышение безопасности. Тем не менее, он предполагает, что если поверить, что на протяжении 30 лет вероятность аварии будет лежать в пределах от 0,01 до 0,1, то затраты в несколько миллиардов долларов на повышение безопасности не противоречат разумным оценкам последствий возможных инцидентов.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Подписание и ратификация договора СНВ-I, и недавнее подписание договора СНВ-II открыли новые возможности для повышения безопасности и защищенности остающихся стратегических сил США. Во-первых, глубокие сокращения количества боеголовок (и целей) по договору СНВ-II и возможное снятие четырех боеголовок с каждой БРПЛ "Трайидент" позволяет произвести модификации для повышения безопасности без уменьшения дальности и ухудшения других оперативных характеристик. Во-вторых, глубокие сокращения позволят сэкономить средства, часть которых может быть направлена на повышение безопасности и защищенности остающихся сил. В-третьих, с окончанием холодной войны развертывание новых систем, таких, как "Трайидент", становится менее срочным, и некоторая задержка в выполнении программы может быть приемлемой. И, наконец, реализация модификаций, направ-

ленных на повышение безопасности, поможет поддержать сохранение основного опыта конструирования, разработки и производства ядерных боеголовок и ракетных систем на твердом топливе. Участие конструкторских и производственных организаций в этих работах поможет сохранить критические компоненты оборонной исследовательской и промышленной базы США.

Мы полагаем, что ВМС и Министерство энергетики должны изучить, и, при необходимости, активно осуществить меры по повышению безопасности системы "Трайидент". Необходимо рассмотреть модификации как ракет, так и боеголовок. Несмотря на то, что мы не можем определенно указать на наилучший вариант модификации БРПЛ "Трайидент", мы рекомендуем обратить особое внимание на три основных варианта:

- установку боеголовок с НВВ и ослабления ударной волны в ракете D-5;
- модификацию ракет с новыми третьими ступенями с топливом класса 1.3 и уменьшением количества боеголовок с семи до четырех;
- модификацию ракет со снятием третьей ступени и уменьшением количества ГЧ с боеголовками с НВВ.

Мы рекомендуем Министерству обороны и энергетике объединить усилия по разработке и установке ядерных боеголовок для системы "Трайидент", независимо от того, будут ли модифицироваться ракеты. Как минимум, слово "безопасных" означает, что новая конструкция должна использовать нечувствительное ВВ, включать средства повышения пожаробезопасности и электрическую систему с повышенной безопасностью по отношению к

Таблица 15

Сводка результатов оценки влияния модификации ракеты D-5 с целью повышения безопасности на оперативные характеристики системы. Площадь района патрулирования и длительность активного патрулирования соответствуют действующим в Атлантическом океане подводным лодкам в пределах досягаемости западной группы позиционных районов SS-18. Тепловые нагрузки на участке входа в атмосферу могут превысить проектные значения существующих ГЧ для БРПЛ при дальности выше 12000 км. Для каждого варианта приведены ожидаемые значения количества поражаемых одной ракетой D-5 защищенных целей и количества мгновенно поражаемых целей (с учетом эффективности патрулирования, подробнее см. в тексте).

Головные части и боеголовки	Мощность (кт)	Дальность (км)	Район патрулирования (10 <sup>6</sup> км <sup>2</sup> )	Активный патруль (суток)	Пораженные защищенные цели	Мгновенно поражаемые цели
<b>Вариант 1. Базовый D-5</b>						
8; 4 Mk5/W88	450	7600; 11500	14,8; 62,2	36,4; 70,0	5,7; 2,8	1,9; 1,9
8; 4 Mk4/W76	100	11000; >12000	55,2; >70,0	70,0; 70,0	3,1; 1,6	2,0; 1,0
<b>Вариант 2. Базовый + HVB</b>						
8; 4 Mk5/HVB	350	7600; 11500	14,8; 62,2	36,4; 70,0	5,3; 2,6	1,8; 1,7
8; 4 Mk4/HVB	80	11000; >12000	55,2; >70,0	70,0; 70,0	2,7; 1,4	1,8; 0,9
<b>Вариант 3. Ослабление ударной волны</b>						
8; 4 Mk4/HVB	80	9600; >12000	36,6; >70,0	60,8; 70,0	2,7; 1,4	1,6; 0,9
<b>Вариант 4. Третья ступень с топливом класса 1.3 + ВВ</b>						
8; 4 Mk5/W88	450	7400; 11000	13,6; 55,6	34,0; 70,0	5,7; 2,8	1,8; 1,9
8; 4 Mk4/W76	100	10500; >12000	49,1; >70,0	70,0; 70,0	3,1; 1,6	2,0; 1,0
<b>Вариант 5 (и 7). Третья ступень с топливом класса 1.3 + HVB</b>						
8; 4 Mk5/HVB	350	7400; 11000	13,6; 55,6	34,0; 70,0	5,3; 2,6	1,7; 1,7
8; 4 Mk4/HVB	80	10500; >12000	49,1; >70,0	70,0; 70,0	2,7; 1,4	1,8; 0,9
<b>Вариант 6. Без третьей ступени</b>						
8; 4 Mk5/HVB	350	6200; 8300	6,6; 19,2	20,8; 44,4	5,3; 2,6	1,1; 1,1
8; 4 Mk4/HVB	80	8100; 9900	17,6; 41,0	41,6; 64,2	2,7; 1,4	1,1; 0,8
8; 4 Mk21/W88	300	5800; 7900	16,2; 40,0	16,2; 40,0	5,0; 2,5	0,8; 0,9

ядерной детонации (или добиться тех же целей другими способами). Для разработки новой боеголовки может потребоваться несколько из 15 ядерных испытаний, разрешенных действующим законом.

Последствия инцидента, сопровождающегося даже очень малым ядерным выходом, будут катастрофическими, и почти определенно приведут к приостановке или даже к прекращению программы "Трайдент". Поэтому детальное изучение проблем безопасности системы "Трайдент" должно включать продолжение анализа этой гипотетической возможности.

Если будет принято решение о повышении безопасности, то крайне важно выделение достаточного финансирования. Попытки "латать дыры" для сохранения средств могут привести к созданию системы, которая будет менее безопасной, чем существующая. Если когда-то в следующем столетии система "Трайдент" будет заменяться на БРПЛ следующего поколения, то следует уделить особое внимание созданию системы с безопасными боеголовками и недетонирующим топливом во всех ступенях ракеты.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают особую благодарность следующим лицам, предоставившим детальные комментарии и критические замечания: Ларри Брандту, Дэйву Берну, Рикку Берку, Сиду Дреллу, Лью Франклину, Теду Харви, Блэру Айрленду, Эду Джеймсу, Джерри Джонсону, Кенту Джонсону, Клайду Лэйну, Эду Ли, Энни Лин, Майку Мэю, Эндрю МакКлелланду, Джиму Миллеру, Грандеру Моргану, Дэйву Мошеру, Роберту Мозли, Биллу Перри, Скотту Сагану, Чарльзу Шапиро, Роджеру Спиду, Дугу Стефенсу, Ричарду Вагнеру и Дику Вишнеру.

Мы обязаны тем сотрудникам организаций в Вашингтоне и других местах, которые несмотря на большую занятость в прошлом году, сумели найти время для анализа и критики нашей работы: Рэмзи

Бар-Ору, Биллу Буклессу, контр-адмиралу Ричарду Бьюкенену и его сотрудникам, Бобу ДеГрассе, Биллу Хоэну, Джону Гопкинсу, Стэнли Килу, Джеку Мэнсфилду и его сотрудникам, Джоан Ролфинг, Джорджу Шнейтеру, Джиму Тиссаранни и Роберту Вертхайму.

Разумеется, что желание отдельного лица прочесть нашу рукопись, или каким-либо другим образом предоставить критические замечания и комментарии, не следует рассматривать как поддержку выводов нашей работы.

Эта работа частично финансировалась грантом корпорации Карнеги в Нью-Йорке, предоставленным Центру по международной безопасности и контролю над вооружениями Стэнфордского университета.

#### ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Эта статья представляет собой сокращенный вариант полного отчета "Nuclear Weapons Safety and Trident: Issues and Options", John R. Harvey and Stefan Michalowski, Center for International Security and Arms Control, Stanford University, August 1993.
2. На каждой ракете MX установлено по 10 боеголовок, а ее оцениваемая точность может быть меньше 120 метров.
3. Конструкция ракеты D-5 позволяет также расположить на ней 12 головных частей Mk4.
4. Первоначально ракета С-4 разрабатывалась для пусковых шахт меньшего размера на ПЛАРБ класса "Посейдон", но впоследствии была развернута на ПЛАРБ класса "Огайо". Пусковые шахты этих лодок позволяли разместить ракеты большего размера, чем С-4, в предвидении разработки D-5. Первоначальный вариант конструкции, созданный во время администрации Картера, предусматривал, что ракета D-5 должна обладать большей дальностью, чем С-4 для повышения живучести подводных лодок и за

- счет отказа от возможности поражения защищенных целей. Впоследствии, при администрации Рейгана, приоритет поражения защищенных целей был увеличен, что привело к требованию повышения мощности боеголовок и увеличению точности, что в свою очередь привело к увеличению стартовой массы ракеты и уменьшению дальности (William Perry, частное сообщение).
5. На самом деле снятие с вооружения идет очень быстро. К началу 1993 года были сняты с вооружения все подводные лодки класса "Лафайет" с ракетами С-3. В настоящее время остается семь подводных лодок класса "Лафайет" с ракетами С-4. Две подводных лодки класса "Лафайет" могут быть переоборудованы для секретных операций как средства доставки пловцов-десантников.
  6. Несмотря на то, что флот стремится оснастить ракетами D-5 подводные лодки в Тихом океане, было принято решение задержать переоборудование ракетными D-5 подводные лодки системы "Трайдент", базирующиеся в Силвердейле (по крайней мере, на ближайшее время). Таким образом, оборудование базы в Силвердейле не позволяет обслуживать ракеты D-5. См. Bruce W. MacDonald, "The Emerging Consensus on Strategic Modernization", *Arms Control Today*, July/August 1991, p.11; *Aviation Week and Space Technology*, 18 March 1991, p. 48.
  7. Под стратегическими ядерными боеголовками подразумеваются ядерные боеприпасы, размещенные на тяжелых бомбардировщиках (на крылатых ракетах воздушного базирования ALCM, авиабомбах и наступательных ракетах ближней дальности SRAM), на межконтинентальных баллистических ракетах (МБР) и на баллистических ракетах на подводных лодках (БРПЛ).
  8. См. "Remarks by President Bush on Reducing U.S. and Soviet Nuclear Weapons", *New York Times*, 28 September 1991.
  9. В январе 1992 года президент Буш распорядился остановить производство боеголовок W88 для ракеты D-5, но длительная остановка производства в Рок-Флэтс, не позволяющая изготавливать плутониевые компоненты для W88, фактически предварила это решение. До остановки производства было накоплено около 400 боеголовок W88, что достаточно для оснащения двух подводных лодок "Трайдент" ракетами D-5 (по восемь боеголовок на каждой ракете). На остальных подводных лодках системы "Трайдент" будут устанавливаться боеголовки W76 (см. также ссылку 12).
  10. См. Robert Holzer and George Leopold, "U.S. Navy Mulls Retirement of Trident Subs", *Defense News*, v. 8, No. 7, 22 - 23 February 1993. См. также "Reducing the Deficit: Spending and Revenue Options", U.S. Congress, Congressional Budget Office, Washington, DC, U.S. Congressional Printing Office, February 1993, pp. 30 - 33. Ранее сенатор Бамперс призывал к прекращению производства ракет D-5, но его предложение не получило широкой поддержки, см. Bert Robinson, "Lockheed's Trident II Faces Vote", *San Jose Mercury News*, 22 July 1992.
  11. См., например T. Reed and M. Wheeler, "The Role of Nuclear Weapons in the New World Order", Arlington, Virginia, System Planning Corporation, December 1991. Основные положения договора СНВ-II согласуются с последним докладом Национальной Академии Наук. Этот доклад рекомендует, чтобы в будущем на БРПЛ размещалось около половины всех стратегических боеголовок, если будущие соглашения ограничат общее количество боеголовок тремя-четырьмя тысячами, и если будет исключено непредвиденное понижение живучести подводных лодок. См. "The Future of U.S.-Soviet Nuclear Relationships", Committee on International Security and Arms Control, Washington, DC, National Academy Press, 1991, p. 32. См. также "Rethinking the Trident Force", Congress of the United States, U.S. Congressional Budget Office, Washington, DC, U.S. Government Printing Office, July 1993.
  12. Это сформулировано в двух меморандумах, см. ссылку 9 в докладе "Nuclear Weapons Safety", Report of the Panel on Nuclear Weapons Safety of the Committee on Armed Services, House of Representatives, December 1990. 28 апреля 1983 года помощник министра обороны по атомной энергии [ASTD(AE)] Ричард Вагнер заявил: "В большинстве новых ядерных боеголовок мы используем нечувствительное взрывчатое вещество и там, где это оправдано, мы планируем переоборудовать старые ядерные боеголовки из арсенала на HVB... политика Министерства обороны по разработке новых ядерных боеголовок такова, что HVB должно использоваться всегда, если только ответственное за разработку ядерного оружия военное ведомство не запросит исключения у заместителя министра обороны по исследованиям и технике (USDRE) через ASTD (AE). Такие запросы будут рассматриваться положительно тогда, когда военные возможности системы при применении HVB заметно и существенно ухудшатся." Тогда же директор военного применения в Министерстве обороны генерал-майор Уильям Хувер заявил: "На основе этой политики мы ожидаем, что HVB должно быть включено в проекты тактико-технических характеристик большинства новых систем. Мы намерены поддерживать эти требования всегда, где это возможно." Еще раньше, 17 мая 1978 года, сенатская комиссия по вооруженным силам под руководством Джона Стенниса "настоятельно рекомендовала", что "HVB должно применяться во всех будущих системах ядерного оружия, как стратегических, так и тактических", см. U.S. Senate Report No. 95-961, p. 10. В последнее время Министерство обороны выпустило инструкции, требующие "действенных мер по предотвращению рассеяния плутония из ядерного оружия"; оно подтвердило свое отношение к HVB и добавило требования к использованию пожароустойчивой конструкции плутониевых компонентов в новых или модернизируемых боеголовках там, где это возможно. См. W. Bookless, "Nuclear Weapons Safety", *Energy and Technology Review*, Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-5200-92-1/2, January/February 1992.
  13. См. письмо Сиднея Дрелла, Чарльза Таунса и Джона Фостера председателю комиссии палаты представителей по вооруженным силам Лесу Эспину от 15 ноября 1991 года. Конгресс выделил ВМС США по 15 миллионов долларов в год в течение 1992 - 1994 финансовых годов на проведение исследований феноменологии детонации твердотопливных ракетных двигателей, включающие: 1.) эксперименты и расчеты для понимания поведения третьей ступени ракеты D-5 в аварийных ситуациях; 2.) эксперименты для изучения ударной детонации ВВ и HVB при взрыве ракетного двигателя; 3.) измерений порогов зажигания и детонации топлива; 4.) анализ надежности операций обслуживания ракеты D-5; 5.) сравнение преимуществ топлив классов 1.1 и 1.3 при производстве и развешивании.
  14. Механическая упругость и меньшее электрическое сопротивление делают топливо класса 1.1 ракеты D-5 заметно менее чувствительным к воспламенению при трении или электростатическом разряде, чем современные топлива класса 1.3. См. "The Joint Venture Analysis of the Nuc-

- lear Weapons Safety Report of the Panel on Nuclear Weapons Safety (December 1990)", Hercules-Thiokol Joint Venture, подготовленного по запросу управления проекта стратегических сил флота от 22 апреля 1991 года. Предполагается, что может быть разработано новое топливо класса 1.3 примерно с теми же характеристиками по воспламенению, как у топлива ракеты D-5. Необходимо будет увеличить количество пластификаторов, что приведет к потере 2 - 4 секунд удельного импульса по сравнению с существующими топливами класса 1.3. Ed Lee, Ed James, LLNL (частное сообщение, 29 октября 1992 года).
15. Важно не смешивать понятия "детонации" и "взрыва". Взрыв может произойти, например, при быстром нарастании давления в ракетном двигателе с топливом с нарушенной зернистой структурой, и при этом будут выделены значительные количества энергии. При детонации топлива сравнимое количество энергии будет выделено за гораздо более короткое время, и в веществе образуется ударная волна высокого давления.
  16. При пожаре обычное ВВ в не очень прочном корпусе (что характерно для стратегических боеголовок) может детонировать (в режиме DDT) при определенных условиях по динамическому давлению или зернистости материала. При любых таких условиях возникновение детонации в режиме DDT в нечувствительном ВВ весьма маловероятно.
  17. Обычные ВВ и топлива класса 1.1 могут детонировать при высокоскоростном ударе ружейной пули. При испытаниях топлива класса 1.1 ракеты С-4, в которых производился выстрел стандартными бронебойными пулями 30-го и 50-го калибра со скоростью около 1000 м/сек, топливо в прочном контейнере не детонировало, но загорелось. Мгновенная детонация топлива может произойти при ударе стального снаряда диаметром 70 - 150 миллиметров при скорости более 250 м/сек. Ожидается, что при таких, или даже еще более жестких условиях ни топливо класса 1.3, ни НВВ детонировать не будут. Интересное обсуждение феноменологии детонации двигателей при пулевых ударах и сложности анализа отдельных случаев см. S. Hamaide et al, "Tactical Solid Rocket Motors Response to Bullet Impact", Propellants, Explosives, Pyrotechnics, v. 17, pp. 120 - 125, 1992.
  18. Установки обработки плутония на заводе Роки-Флэтс в настоящее время закрыты из-за сильного загрязнения. Маловероятно, что они будут запущены в ближайшее время.
  19. В настоящее время боеголовки БРПЛ не перевозятся по железной дороге или самолетами.
  20. Большая часть инцидентов с рассеянием плутония была связана с авариями самолетов (в том числе со столкновениями и пожарами). До 1969 года произошло 4 серьезных инцидента с рассеянием плутония: авария самолета В-47 в Сиди-Слимане, Марокко (31 января 1958 года), взрыв ракеты "Бомарк" на авиабазе МакГуайр в штате Нью-Джерси (7 июня 1960 года), столкновение самолета В-52 в воздухе над Паломаресом в Испании (17 января 1966 года) и авария самолета В-52 в Туле, Гренландия (21 января 1968 года). На борту этих объектов соответственно находились: авиабомба В36, боеголовка ракеты "Бомарк W40, и авиабомбы В28 на борту самолетов В-52. См. "Narrative Summaries of Accidents Involving U.S. Nuclear Weapons 1950 - 1980", Department of Defense, May 1981, и "U.S. Nuclear Weapons Accidents: Danger in Our Midst", The Defense Monitor, v. 10, No. 5, 1981, Washington, DC, Center for Defense Information.
- Рассеяние плутония чуть было не произошло при пожаре самолета В-52 на авиабазе Гранд-Форкс 15 сентября 1980 года. См. USAF Mishap Report, Report Serial No. 80-9-15-101 от 29 сентября 1980 года.
21. На флоте произошло несколько аварий, включая аварии в БРПЛ, во время которых ядерное оружие было, или могло быть подвержено "аномальным внешним воздействиям". В одном случае одна подводная лодка была потеряна в океане, предположительно с ядерным оружием на борту. Отмечались также столкновения между судами с ядерным оружием на борту в открытом море или вблизи побережья. См. SIPRI Yearbook 1977: World Armaments and Disarmament, Cambridge, MA, M.I.T. Press, 1977, p. 52. Несколько нам известно, в программе баллистических ракет флота не было инцидентов, сопровождавшихся воздействием плутония на население. Тем не менее, у нас нет возможности определить, были ли на флоте необъявленные аварии или близкие к ним инциденты. В частности, в ВВС США произошло несколько инцидентов, которые почти что не закончились аварийной ситуацией. См. Scott D. Sagan, "The Limits of Safety: Organizations, Accidents and Nuclear Weapons", Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1993.
  22. Проверка посторонними экспертами нередко позволяет преодолеть определенные ведомственные ограничения, поскольку анализ ситуаций, которые чуть было не завершились авариями, может ограничиваться ведомственным образом мышления и интересами организации (см. предыдущую ссылку).
  23. См. P. Slovic, "Perception of Risk", Science, v. 236, 1987, pp. 280 - 285; R.E. Kasperson, O. Renn, P. Slovic, H. Brown, J. Emeo, R. Goble, J.X. Kasperson, S. Ratick, "The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework", Risk Analysis, v. 8, June 1988, pp. 172 - 187.
  24. Возможно также, что люди, получившие допуск к работе с ядерным оружием, могут потерять психологическую устойчивость и сознательно создать аварийную ситуацию. В одном случае в 1958 году сержант, участвовавший в обслуживании ядерного оружия, "стал буйствовать и угрожал выстрелить в атомную бомбу, чтобы покончить с собой". См. Jack Raymond, "U.S. Tightens Screening Rules for Handlers of Atom Bombs", New York Times, 29 November 1962, p. 1; см. также Herbert L. Abrams, "Sources of Human Instability in the Handling of Nuclear Weapons", in Fredric Solomon and Robert Q. Marston (editors), "The Medical Implications of Nuclear War", Washington, DC, National Academy Press, 1986.
  25. Например, авария при штатном испытательном запуске может привести к взрыву или детонации ракеты-носителя БРПЛ на очень малой высоте; при этом возможно выделение энергии в производящей запуск подводной лодке (движущейся довольно близко к поверхности), достаточно большой для того, чтобы привести к разрушительному воздействию на другие ракеты, оснащенные реальными боеголовками. Аварии при испытательных запусках не так уж редки.
  26. См. Ralph H. Condit, "Plutonium Dispersal in Fires: Summary of What is Known", Livermore, California, Lawrence Livermore National Laboratory, October 1986. В этой работе приведены полезные соображения по поводу механизмов рассеяния плутония и опасности здоровья населения.
  27. Было измерено, что давление ударной волны, проходящей в НВВ, не превышает 1 кбар, что

- даже недостаточно для прямой детонации обычного ВВ. Значительная часть НВВ после эксперимента превратилась в обломки, которые ни сдетонировали, ни сгорели. Макет плутониевого компонента был разломан на сравнительно слабо поврежденные крупные куски.
28. Edward Lee, Lawrence Livermore National Laboratory (частное сообщение).
  29. За время выполнения программы баллистических ракет флота ВМС США провели более 30 тысяч операций по погрузке подвешенных ракет без серьезных аварий, сопровождавшихся рассеянием плутония. В одном инциденте на базе подводных лодок в Холли-Лох в Шотландии ракета "Посейдон С-3", перемещалась с плавучей базы обслуживания на подводную лодку "Холланд". Трос освободился, и ракета пролетела вниз около пяти метров, прежде чем была остановлена автоматическим тормозом прямо над палубой подводной лодки "Холланд". "Дико раскачивающаяся" ракета ударилась о плавучую базу. См. D. Campbell, N. Solomon, "Accidents Will Happen", New Statesman, 27 November 1981. Было еще один или два инцидента, связанных с "уроненными" ракетами.
  30. При ударе стальной пластины по двигателю третьей ступени ракеты С-4 или D-5 со скоростью от 45 до 60 метров в секунду в ударной волне развивается давление от 30 до 40 кбар, достаточное для инициирования детонации топлива с вероятностью около 50 процентов. Это соответствует свободному падению ракеты (в вакууме) с высоты от 100 до 180 метров. Согласно данным ВМС, максимальная скорость падения ракеты при аварии с раскачиванием ракеты будет равна примерно 25 метрам в секунду, что соответствует высоте падения в 40 метров. При такой аварии прямая детонация крайне маловероятна. См. плакаты, представленные бывшим директором управления программы стратегических систем флота контр-адмиралом Кеннетом С. Мэлли, и несекретные диаграммы, показывающие чувствительность топлива ракет "Трайдент I" в "Trident II Missile Performance Impacts of Employing IHE in the Mk5 Reentry Body", Livermore, California, Lawrence Livermore National Laboratory, March 1983.
  31. Если боеголовка находится в пламени углеводородного горючего (с температурой от 800 до 1100 градусов Цельсия), то во вдыхаемую форму переходит меньшая часть плутония (от 0,001 до 1 процента), чем при детонации ВВ. Пламя твердого топлива ракетного двигателя намного жарче (около 2 500 градусов Цельсия), и поэтому значительная часть плутония может испариться, что увеличит долю малых вдыхаемых частиц. См. ссылку 26, стр. 10.
  32. См. "The Joint Venture Analysis of the Nuclear Weapons Safety..." (ссылка 14), стр. 30.
  33. См. "The Joint Venture Analysis of the Nuclear Weapons Safety..." (ссылка 14), стр. 17.
  34. Интересное обсуждение влияния пожара и полезности пожаростойчивых конструкций см. в Douglas R. Stephens, "Fire-Resistant Pits: Reducing the Probability of Accidental Plutonium from Fuel Fires", Livermore, California, Lawrence Livermore National Laboratory, March 1992, report No. UCRL-ID-110556.
  35. Изоляция, обеспечиваемая неразрушенной конструкцией головной части, может увеличить время удержания в пламени твердого топлива еще на несколько минут.
  36. Безопасность в одной точке "буквально означает следующее: а.) в случае детонации, начавшейся в любой точке системы компонентов ВВ, вероятность ядерного взрыва с тротиловым эквивалентом, превышающем 1,8 кг, не превышает одной миллионной, и б.) безопасность в одной точке должна быть свойством конструкции самого ядерного устройства, и должна достигаться без применения дополнительных защитных элементов. См. письмо председателя военной комиссии связи К. Вальске бригадному генералу Джиллеру в Комиссию по атомной энергии, апрель 1968 года.
  37. См. доклад комиссии Дрелла (ссылка 12), стр. 29.
  38. Мощность взрыва первичной компоненты может быть увеличена при инъекции небольшого количества смеси дейтерия и трития в центральную область компонента. Поток нейтронов с энергией 14 МэВ, выделяющийся в термоядерной реакции, индуцирует дополнительные деления ядер, увеличивая мощность первичного компонента.
  39. После выхода отчета комиссии Дрелла в лабораториях Министерства энергетики была начата работа по выявлению всех возможных механизмов, которые могут привести к ядерному энерговыделению более 1,8 килограмма тротилового эквивалента при детонации двигателя третьей ступени.
  40. См. ссылку 26, стр. 3.
  41. См. ссылку 26, стр. 5. Для сравнения, официальное предельно допустимое количество плутония в легких составляет 0,3 микрограмма, или  $1,6 \cdot 10^{-8}$  Кюри. В другом источнике указывается доза за 30 лет, равная 3800 рад на миллиграмм плутония оружейного качества, попавшего в легкие. См. S. Fetter, F. von Hippel, "The Hazard from Plutonium Dispersal by Nuclear-Warhead Accidents", Science & Global Security, v. 2, No. 1, p. 23.
  42. См. С. Феттер, Ф. фон Хиппель (ссылка 41), стр. 22 - 24.
  43. См. С. Феттер, Ф. фон Хиппель (ссылка 41), стр. 24.
  44. Скорость ветра в четыре километра в секунду в восточном направлении к Сиэттлу является наилучшим предположением. Преимущественными направлениями будут северное и южное (из-за влияния хребтов Олимпик и Коттедж); наиболее вероятно южное направление. Направление ветра, использованное Феттером и фон Хиппелем, наблюдается в течение пяти процентов времени. В остальное время доза для населения будет значительно меньше из-за анизотропного распределения плотности населения в Сиэттле. При использовании модели, учитывающей рельеф местности, изменение направления ветра приведет к уменьшению дозы на два-три порядка величины. Ted Harvey, LLNL, частное сообщение.
  45. A. Lin and J. Harvey, "Plutonium Dispersal in Nuclear Weapons Accidents", Центр международной безопасности и контроля над вооружениями Стэнфордского университета (готовится к печати).
  46. При текущем значении фактора риска в  $5 \cdot 10^{-4}$  ожидаемых смертей на человеко-рем при облучении всего тела число ожидаемых смертей от естественного облучения за 30 лет будет равно  $(5 \cdot 10^5 \text{ человек}) (0,1 \text{ рем}) (5 \cdot 10^{-4} \text{ смертей/человеко-рем}) (30 \text{ лет}) = 750$  ожидаемых смертей. Ожидается, что вдыхание окислов плутония, образовавшихся при ядерных испытаниях в атмосфере в 50-х и в начале 60-х годов, приведет к 1000 - 5000 смертельным исходам во всем мире (см. работу Феттера и фон Хиппеля в ссылке 41, сноска на стр. 27). Оценка общей дозы, полученной населением всего мира от всех изотопов, образовавшихся во время ядерных испытаний в атмосфере в период 1945 - 1963 годов, лежит в интервале от 400 до 800 милли-

онов человеко-рад (или человеко-рем, поскольку облучение производится бета- и гамма-излучением, для которого фактор качества  $Q = 1$ ). Это соответствует интервалу от 200 до 400 тысяч дополнительных ожидаемых смертей за весь период атмосферных испытаний, или от 10 до 20 тысяч смертей в год. Для сравнения, ежегодная общая доза, получаемая населением земного шара от естественного радиационного фона, примерно равна 300 миллионам человеко-рад, что соответствует 150 тысячам ожидаемых смертей в год. См. "Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly, New York, United Nations, 1988. Мы благодарим Чарльза Шаппиро из Ливерморской лаборатории за указание на это обстоятельство.

47. См. статью Феттера и фон Хиппеля в ссылке 41. В табл. 7 этой работы показано, что при указанных наименее благоприятных условиях незащищенные люди на расстоянии двух километров от места аварии в среднем вдохнут по 0,02 миллиграмма плутония. Считая, что на миллиграмм попавшего в легкие плутония придется по 10 ожидаемых смертей за тридцать лет, мы получим, что вероятность гибели от рака после аварии будет равна  $10 \cdot 0,02$  миллиграмма = 0,2, или 20 процентов. Поскольку общая вероятность смерти от рака по любой причине равна 20 процентам, авария увеличит эту вероятность почти в два раза, или до 36 процентов (20% + 0,280%).

48. При определенных атмосферных условиях сдувание частиц с поверхности может значительно увеличить дозу вдыхаемого плутония. Официальные источники рекомендуют использовать величину в  $0,2 \cdot 10^{-6}$  Кюри/ $m^2$  как остаточный уровень при очистке почвы от трансураниевых элементов. Эта величина получена из допустимого уровня облучения в один миллирем в год для легких и три миллирема в год для скелета. При определении остаточного уровня использовалась модель повторного выброса частиц в атмосферу; образцы берутся из верхнего слоя почвы толщиной в один сантиметр при размерах частиц до двух миллиметров. Остаточный уровень не следует рассматривать как величину, превышение которой требует немедленных дезактивационных работ. Напротив, ее следует рассматривать как пороговое значение, исключающее земли с меньшим уровнем заражения из дальнейшего, более детального рассмотрения.

Мы можем оценить поверхностное загрязнение  $\sigma$  от возможной аварии в окрестностях Сизэтла. Согласно уравнению 7 из работы С. Феттера и Ф. фон Хиппеля (ссылка 41),  $\sigma = vI/b$ , где  $\sigma$  выражено в миллиграммах на квадратный метр,  $I$  - количество плутония, которое может попасть в легкие одного человека при прохождении выброса,  $v$  - скорость выпадения частиц, которая предполагается равной 0,01 м/сек, и  $b$  - средняя интенсивность дыхания, равная  $3,3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/сек. Из табл. 7 той же работы можно оценить, что на расстоянии от 5 до 10 километров с подветренной стороны от места аварии величина  $I$  равна примерно 0,01 миллиграмма. При этом величина  $\sigma$  будет равна 0,3 мг/ $m^2$ , или  $2,4 \cdot 10^{-5}$  Кюри/ $m^2$  (для плутония оружейного качества активность равна 0,08 Кюри/г). Эта величина примерно в 100 раз больше официального остаточного уровня. На расстоянии в один километр от места аварии поверхностное загрязнение будет в 300 раз больше этого уровня.

Если потребуются дезактивация до уровня фонового загрязнения, то критерии будут зна-

чительно жестче. Например, загрязнение плутонием, выброшенным при испытаниях ядерного оружия в атмосфере в средних широтах примерно в 100 раз меньше официального остаточного уровня. Если же рассматривать содержание плутония в верхнем сантиметре почвы (наиболее опасном для повторного сдувания частиц), то фон от атмосферных испытаний будет на три порядка величины меньше уровня. Загрязнение плутонием при аварии может быть измерено вплоть до этих пределов, или даже ниже, поскольку изотопный состав выброса при ядерных испытаниях в атмосфере будет несколько иным. Площадь земель при дезактивации до фонового уровня (около  $0,1 \cdot 10^{-9}$  Кюри/ $m^2$ ) может быть на порядок величины больше, чем при дезактивации до официального остаточного уровня. См. "Interim Recommendations on Doses to Persons Exposed to Transuranium Elements in the General Environment" (draft), U.S. Environmental Protection Agency (1987). Мы благодарим Дуга Стефенса из Ливерморской лаборатории, позволившего нам использовать при подготовке этого примечания некоторые из его неопубликованных работ и расчетов.

49. См. Keith Schneider, "U.S. Plans Big Cuts In Its Production of Nuclear Arms", New York Times, 17 December 1991.

50. George Leopold, "Navy Officials Wrestle With Nuclear Arms Shuffle", Defense News, 8 - 14 June 1992.

51. Сферически-коническая стратегическая головная часть может весить около 180 килограммов, а диаметр ее основания может быть равен 56 сантиметрам. Коэффициент торможения зависит только от формы ГЧ. Для типичной ГЧ с половинным углом конуса в восемь градусов и отношением притупления (отношением радиуса носовой части к радиусу основания) около 0,05 значения коэффициента торможения будет лежать в пределах от 0,05 до 0,1. При этом баллистический коэффициент будет составлять от 7500 до 15000 килограммов на квадратный метр. Коэффициенты торможения конических тел с закругленным концом, так же, как и другие интересные данные по головным частям, рассматриваются в книге Frank J. Regan, "Reentry Vehicles Dynamics", New York, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1984, p. 139.

52. Обе боеголовки W87 и W88 принадлежат к классу боеголовок большой мощности. В 80-х годах, когда быстрыми темпами ставились на вооружение ракеты MX и другие системы ядерного оружия, нехватка высокообогащенного урана заставляла использовать боеголовки W87 с мощностью меньше максимальной. При необходимости мощность боеголовки W87 может быть увеличена до уровня мощности W88 без дополнительных ядерных испытаний.

53. Влияние коэффициента  $\beta$  на параметры длинной ГЧ может быть выявлено при детальных конструкторских проработках, которые позволят определить, до какой степени увеличение массы длинной ГЧ может компенсировать увеличение диаметра основания и коэффициента торможения.

54. Не исключено также, что разработчики W88 стремились использовать конструкцию вторичного термоядерного компонента, прошедшую испытания на полной мощности до договора 1974 года о пороге испытаний, ограничивающего мощность испытательных взрывов величиной в 150 килотонн.

55. Значение КВО для ракеты D-5 равно 130 метрам, см. "Modernizing U.S. Strategic Offensive Forces: The Administration Program and Alter-

- natives", Congressional Budget Office (CBO), USGPO, Washington, D.C., May 1983.
56. Согласно договору СНВ-II, ракеты МХ должны быть уничтожены к 2003 году. Оставшиеся ГЧ Mk21/W87 могут быть установлены на МБР "Минитмен III" (по одной боеголовке на каждой), или использованы в системе "Трайидент". Даже если эти боеголовки не будут применяться для МБР "Минитмен III", они не могут быть включены в систему "Трайидент" в ближайшем будущем.
  57. Оболочка расщепляющегося материала может быть изготовлена из плутония, высокообогащенного урана, или из обоих материалов.
  58. C. Alonso et al., "Report to Congress on Stockpile Reliability, Weapon Remanufacture and the Role of Nuclear Testing", Livermore, California, Lawrence Livermore National Laboratory, October 1987, report No. UCRL-53822, p. 20.
  59. См. ссылку 58, стр. 20 и 29.
  60. См. ссылку 58, стр. 26.
  61. Плотность обоих материалов примерно одинакова, около  $1,8 \text{ г/см}^3$ .
  62. George Leopold, "Weapons Labs Scour for W88 Replacement", Defense News, v. 2, 2 March 1992.
  63. В предложениях Президента Клинтона по бюджету на 1994 финансовый год нет статьи по финансированию производства плутониевых компонентов в Роки-Флэтс. См. George Leopold, "DOE Eyes Cleanup of Nuclear Sites", Defense News, 12 - 18 April 1993.
  64. Двухступенчатая ракета SS-18 на жидком топливе оснащена 10 высокоточными боеголовками с мощностью порядка сотен килотонн. Она обладает противосиловыми возможностями по отношению к шахтам американских МБР. Дальность в 11 тысяч километров позволяет ей поразить любую важную цель на территории США. В настоящее время развернуто около 308 ракет SS-18. По договору СНВ-I их количество должно быть уменьшено до 154. При вступлении в силу договора СНВ-II все эти ракеты должны быть уничтожены, но около 90 шахт должно быть перестроено для размещения ракет с одной боеголовкой.
  65. "Soviets Testing New Generation of ICBMs", Aviation Week and Space Technology, 3 November 1980, p. 28.
  66. Двухступенчатые ракеты SS-19 на жидком топливе также могут рассматриваться как потенциальные цели для системы "Трайидент". На каждой из них установлено по 6 боеголовок с мощностью в несколько сотен килотонн. Они размещены в западной части России и Украины, и поэтому они более доступны подводным лодкам "Трайидент", патрулирующим в Атлантическом океане, чем SS-18. По договору СНВ-II шахты SS-19 должны быть либо демонтированы, либо оснащены ракетами с одной боеголовкой.
  67. Программа расчетов состоит примерно из 1500 строк на языке Паскаль. Она была разработана Ником Джентилом из Ливерморской лаборатории и потребовала лишь незначительных изменений.
  68. Мы предполагаем, что маневры блока разделения предназначены только для вывода головных частей на заданную траекторию, но не для повышения дальности.
  69. В этих расчетах предполагалось, что плотность топлива класса 1.1 и класса 1.3 одинакова. На самом деле плотность топлива класса 1.3 примерно на пять процентов ниже, чем у топлива класса 1.1. Для модифицированной ракеты D-5 с топливом класса 1.3 и с восемью боеголовками Mk5 потеря дальности при учете меньшей плотности составит примерно 270 километров (или 3,7 процента), а не 200 километров. Новое топливо класса 1.3 с теми же механическими свойствами и устойчивостью к воспламенению, что у топлива класса 1.1, может обладать удельным импульсом, на 14 секунд меньшим, и на 5 процентов меньшей плотностью. В этом случае потеря дальности модифицированной ракеты D-5 составит 350 километров, или 4,7 процента.
  70. Реальная экономия веса при удалении третьей ступени будет меньше, чем вес самой ступени. Третья ступень несет на себе часть механической нагрузки блока разведения и при удалении ступени потребуется некоторое увеличение прочности конструкции блока разведения, увеличивающее его вес.
  71. См. F. Pearson, "Map Projections: Theory and Applications", Boca Raton, Florida, C.R.C. Press, 1990, pp. 110 - 117.
  72. Максимальное торможение ракеты D-5 с восемью ГЧ Mk5 происходит примерно на середине рабочего интервала первой ступени на высоте около 8,5 км и при скорости около 7,5 км/сек. Максимальное динамическое давление для ракеты D-5 с четырьмя боеголовками Mk5 будет примерно на десять процентов больше. Мы не можем оценить влияние увеличения аэродинамической нагрузки на механическую прочность ракеты. Эти сложные вычисления надо будет проводить при любых конструктивных модификациях ракеты.
  73. Это различие связано с географией Тихого океана. При дальности ракеты в 7600 км или более ПЛАРБ может сократить время перехода в район патрулирования, направляясь сразу же из Силвердейла в Аляскинский залив, где цели SS-18 в Карталы сразу же оказываются в пределах дальности ее ракет. После этого она может двигаться вдоль Алеутского архипелага в северную часть Тихого океана или в Берингово море, все время оставаясь в пределах досягаемости своих целей. При дальности ракеты, меньшей 7400 км, в Аляскинском заливе практически не остается места, из которого можно было бы достичь целей в Карталы. При этом минимальное время перехода в район патрулирования будет достигнуто при движении к проливу Унимак в Алеутском архипелаге и проходе через него в Берингово море. Так, например, ПЛАРБ с ракетами дальностью с 7600 километров должна пройти около 1800 км от Силвердейла до района патрулирования в Аляскинском заливе. При уменьшении дальности на 200 километров подводной лодке надо будет пройти до пролива Унимак и перейти в Берингово море, чтобы цели в Карталы стали доступными; это увеличит общую длительность пребывания в океане на 13 суток (включая коррекцию на 20 процентов). Таким образом, доля времени активного патрулирования в Тихом океане сильно зависит от дальности ракеты; такого резкого зависимости в Атлантическом океане не наблюдается.
  74. Грубую оценку стоимости приобретения новой третьей ступени можно получить из данных по программе продления срока эксплуатации ракеты "Минитмен III", по которой были изготовлены и заполнены твердым топливом 620 корпусов двигателей третьей ступени. Стоимость этих работ составила 620 миллионов долларов, или по 0,6 доллара за двигатель. См. "Minuteman III Life Extension Report - A Report to Congress", Department of Defense [USD(A)], 29 July 1992. Неясно, какие системы третьей ступени (например, корпус, изоляция или сопло) могут быть использованы повторно. Наша оценка стоимости приобретения в 0,7 миллиона долларов за двигатель является, однако, довольно консервативной, поскольку вес третьей ступени "Минитмена III" примерно вдвое больше, чем у третьей ступени

- пени D-5, а стоимость топлива составляет заметную часть от стоимости всей ступени.
75. Это предлагалось комиссией Дрелла в письме к Лесу Эспину, председателю комиссии по вооруженным силам палаты представителей, датированному 15 ноября 1991 года.
  76. Наши оценки стоимости новых боеголовок не включают стоимости повторного пуска установок Рокет-Флэтс или их замены.
  77. Все варианты более подробно описаны в полном отчете "Nuclear Weapons Safety and Trident: Issues and Options", John R. Harvey and Stefan Michalowski, Center for International Security and Arms Control, Stanford University, August 1993.
  78. Предварительные расчеты, проведенные в Ливерморской лаборатории в 1986 - 1987 годах, показали, однако, что из-за тесного расположения третьей ступени и ГЧ в системах С-4/Мк4 и D-5/Мк5 невозможно установить достаточное количество поглощающего ударную волну материала для предотвращения детонации. Для установки ГЧ Мк4 меньшего размера на ракете D-5 ослабление ударной волны может быть более приемлемым, поскольку будет больше места для размещения материала, способного уменьшить пиковое давление ударной волны в боеголовке. Если ослабление ударной волны окажется возможным, то стоимость небольшой исследовательской программы составит около 50 миллионов долларов для каждой ракеты, а их длительность составит от одного до двух лет. Такая программа может проводиться параллельно с разработкой боеголовки с НВВ.
  79. Расчет "мгновенной способности поражения защищенных целей" производится следующим образом: надежность системы R умножается на количество боеголовок на ракете, на вероятность поражения защищенной цели одной боеголовкой SSPK и на долю времени, в течение которого цель находится в пределах дальности. Величина SSPK определяется выражением:  $SSPK = 1 - \exp(-\ln 2 (WR/KBO)^2)$ , где WR - радиус поражения защищенной цели, равный  $265 \cdot Y^{1/3}$  метров при живучести цели в 350 атм и Y - мощность боеголовки в мегатоннах. Круговое вероятное отклонение KBO полагалось равным 135 метрам. При 95-суточном цикле (70 суток в море и 25 суток в порту) и 12-месячном перерыве раз в 10 лет средняя вероятность боевой готовности системы "Трайдент" будет равна 0,66 (в течение коротких периодов повышенной готовности эта вероятность может поддерживаться на более высоком уровне). Поэтому доля времени, в течение которого цели SS-18 находятся в пределах дальности (при нормальном уровне боевой готовности), может быть получена для каждой конфигурации ракет и каждого метода базирования умножением длительности активного патрулирования из табл. 15 на величину  $0,66/(70 \text{ суток})$ . Так, например, для базового варианта ракеты D-5 с ГЧ Мк5/W88, базирующихся в Кингз Бэе, мы имеем:  $R = 0,9$ ; SSPK = 0,79; число боеголовок на ракете = 8; доля времени в пределах дальности = 36,4 суток  $0,66/70 \text{ суток} = 0,34$ ; что приводит к количеству шахт SS-18, мгновенно уничтожаемых одной ракетой, равному 1,9.
  80. См. Ann Fisher et al, "The Value of Reducing Risks of Death: A Note on New Evidence", Journal of Policy Analysis and Management, vol. 8, No. 1, 1989, pp. 88 - 100. Мы благодарны Джиму Миллеру за сообщение об этой работе.
  81. При простом анализе риска и временном игнорировании аварий связь допустимых затрат на развертывание и эксплуатацию системы "Трайдент" связана с вероятностью ядерной войны и стоимостью ее последствий следующим образом:  $V_d = C_w (P_{wnt} - P_{wt})$ , где  $C_w$  - "стоимость" ядерной войны,  $P_{wnt}$  - вероятность ядерной войны без системы "Трайдент" и  $P_{wt}$  - вероятность ядерной войны с системой "Трайдент". Если мы предположим, что начальные затраты на систему "Трайдент" уже произведены, и что мы хотим определить, какие затраты можно произвести, чтобы увеличить безопасность системы для предотвращения серьезной аварии, которая может привести к прекращению ее использования. В этом случае  $V_{fix} = C_w (P_{wta} - P_{wt})$ , где  $P_{wta}$  - вероятность войны при развертывании системы "Трайдент" с конечной вероятностью аварии. После простых вычислений получаем, что  $P_{wta} = P_A \cdot P_L (P_{wnt} - P_{wt}) + P_{wt}$ . Из этого следует, что  $V_{fix} = P_A \cdot P_L [C_w (P_{wnt} - P_{wt})] = P_A \cdot P_L \cdot V_d = P_A \cdot P_L \cdot 150$  миллиардов долларов.