

ПРОБЛЕМА БАЗИРОВАНИЯ МЕЖКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАКЕТ (МБР)

Арт Хобсон

В этой статье проводится анализ и сравнение альтернативных методов базирования МБР в СССР и США в двух сценариях структуры сил - сценарии, соответствующем выполнению обязательств по заключенным соглашениям по сокращению стратегических наступательных вооружений, и сценарию "конечного сдерживания", в котором каждая из сторон будет иметь по 2000 ядерных боеголовок. Продолжение тенденции к увеличению среднего числа боеголовок на одном носителе сделает структуру сил на основе МБР шахтного базирования еще более нестабильной, чем сейчас, но их устойчивость может быть существенно повышена при переходе на ракеты с одной ядерной боеголовкой, размещаемые в тех же шахтах. Что касается дальнейших перспектив МБР мобильного базирования, то основанная на них структура сил будет устойчивой тогда, когда мобильные носители будут рассредоточены по большой площади случайным образом; но не тогда, когда они будут собраны в нескольких гарнизонах с известным заранее положением. При дислокации в гарнизонах мобильные силы железнодорожного или автономного базирования размером в 500 боеголовок будут уязвимы к атаке с коротким периодом оповещения, произведенной всего лишь одной (для ракет МХ железнодорожного базирования и ракет СС-25) или тремя (для ракет "Миджетмен") подводными лодками с баллистическими ракетами. Имеется по крайней мере два альтернативных варианта, достаточно перспективных для проведения детальных технических разработок: шахты с очень высокой устойчивостью и группы шахт. Если эти варианты окажутся технически осуществимыми, то построенные на их основе структуры сил могут оказаться более стабильными, чем структуры сил с мобильными МБР, потому что, в отличие от мобильных сил, их живучесть не будет зависеть от своевременного получения оповещения и от эффективности выполнения предохранительных мероприятий после получения предупреждения.

Автор работает на физическом факультете университета штата Арканзас в г. Файетвиле, AR 72701.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение точности американских и советских МБР привели к тому, что связанные с ними компоненты стратегических ядерных сил каждой из сторон стали уязвимыми по отношению к превентивному удару противника. В связи с этим США могут перевести 50 расположенных в шахтах ракет МХ на специальные железнодорожные платформы; кроме того, они разрабатывают мобильные ракеты "Миджетмен" с одной ядерной боеголовкой. В СССР ведется программа повышения живучести шахт, там было развернуто 27 ракет СС-24 железнодорожного базирования с десятью ядерными боеголовками, 40 таких же ракет было установлено в шахтах и, кроме того, там было развернуто 200 ракет СС-25, базирующихся на специальных транспортерах.¹ В будущем, когда каждая из сторон будет сокращать общее количество ядерных боеголовок, а такие

важные параметры наступательных сил, как точность поражения целей и надежность систем, будут еще лучше, чем сейчас, особенно важным окажется достижение уверенности и устойчивости благодаря применению систем оружия с меньшей уязвимостью.

Недавно Форум "Физика и общество" Американского физического общества принял детальное исследование проблемы уязвимости ракетных сил США.² Основной вывод был таким: выбор способа базирования МБР США должен в значительной степени определяться размером и структурой сил другой стороны, и, следовательно, зависеть от выбранного сценария контроля над вооружениями. В данной работе рассматриваются два варианта ограничений - сценарий, соответствующий выполнению обязательств по заключенным соглашениям по сокращению стратегических наступательных вооружений, и сценарий "конечного сдерживания", в котором каждая из сторон

будет иметь по 2000 ядерных боеголовок.³⁻⁷ При подготовке доклада для Форума Американского физического общества мы рассматривали и вопросы безопасности советских сил. В последнее время появились многочисленные полезные обзоры этих проблем (см., например⁸⁻²¹).

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТЕНДЕНЦИИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАКЕТ С БОЛЬШИМ ЧИСЛОМ БОЕГОЛОВОК

В табл. 1 показано текущее состояние структуры наступательных ядерных сил (на май 1990 года) вместе с возможными сценариями будущих структур сил. Сценарий START/MIRV соответствует стандартной структуре сил, соответствующей ограничениям Договора о сокращении стратегических наступательных вооружений, в которой, так же, как и в современной структуре, основная роль принадлежит ракетам с большим количеством боеголовок, установленным в действующих шахтах. Сценарий START/deMIRV основан на использовании ракет с одиночными боеголовками (или с малым числом боеголовок), также устанавливаемых в действующих шахтах. В этом сценарии, так же, как и в предыдущем, не предусмотрено развертывания новых мобильных МБР. Сценарий "конечного сдерживания" предусматривает развертывание 2000 ядерных боеголовок с каждой стороны, 1500 из которых устанавливается на баллистических ракетах наземного и морского базирования.^{22,23}

На рис. 1 показаны результаты расчетов выживаемости ядерных боеголовок современной структуры ядерных сил, и структуры сил середины 90-х годов (по сценарию START/MIRV) для одиночной атаки (при этом на каждую шахту выделяется одна боеголовка) и для двукратной атаки (при этом на каждую шахту выделяется две боеголовки). В середине 90-х годов баллистические ракеты на подводных лодках (БРПЛ) смогут наносить удары по шахтам и поэтому эти удары были включены в проведенные расчеты. Схема расчетов, сделанные в них предположения, и детальные выводы приводятся в отдельной заметке автора в этом же выпуске журнала.²⁴ Многие аналитики считают, что результаты, подобные представленным на рис. 1, позволяют сделать вывод о том, что шахтное базирование МБР является нестабильным, и что ситуация будет ухудшаться при сохранении ведущей роли ракет с большим количеством ядерных боеголовок.

Здесь следует отметить несколько важных особенностей. Во-первых, в середине

90-х годов атаки шахт с МБР с подводных лодок станут достаточно эффективными. Это очень важно, потому что быстрая атака находящихся вблизи побережья подводных лодок может уничтожить ракетные силы шахтного базирования одновременно с не успевшими подняться в воздух стратегическими бомбардировщиками.²⁵⁻²⁷ Атака с использованием МБР наземного базирования не может достичь этой цели из-за ограничений по времени полета.^{28,29} Возможность проведения подобной атаки сокращает триаду стратегических сил (МБР, БРПЛ и стратегические бомбардировщики) до одной неуязвимой компоненты баллистических ракет на подводных лодках. Уже начатое развертывание американских БРПЛ "Трайдент-2" уже сейчас создает подобные проблемы для СССР. Для проведения двукратной атаки на советские ракеты наземного базирования потребуется пять американских подводных лодок, а для одиночной атаки - всего три. Аналогичная советская атака может быть проведена на несколько лет позже,³⁰ но она менее опасна из-за того, что большинство американских ядерных боеголовок размещено на неуязвимых подводных лодках.

В настоящее время фактором, ограничивающим эффективность однократной атаки, является не столько точность ракет, сколько их надежность. Причины ненадежности в первую очередь связаны с начальным участком полета ракеты. Однако, аварии на начальном участке траектории легко и быстро обнаруживаются, и их легко исправить, используя запасные МБР с гибким программированием целей, которые могут взять на себя задачи отказавших ракет. Такая тактика может повысить эффективную надежность каждой ракеты атакующей стороны с предполагаемых 80 процентов до примерно 90 процентов.³¹⁻³⁴

На МБР установлены 60 процентов советских стратегических ядерных боеголовок и всего лишь 20 процентов американских. Поэтому в настоящее время удары по шахтам уничтожат около 5 000 советских ядерных боеголовок и всего лишь около 2 000 американских (в варианте, наиболее неблагоприятном для обороняющейся стороны). Неудивительно поэтому, что уж много лет назад в Советском Союзе было принято решение перейти к созданию МБР повышенной живучести.

УСТАНОВКА В ДЕЙСТВУЮЩИХ ШАХТАХ РАКЕТ С МЕНЬШИМ ЧИСЛОМ БОЕГОЛОВОК

Дилемма МБР вытекает из того факта, что индивидуальные наземные баллистиче-

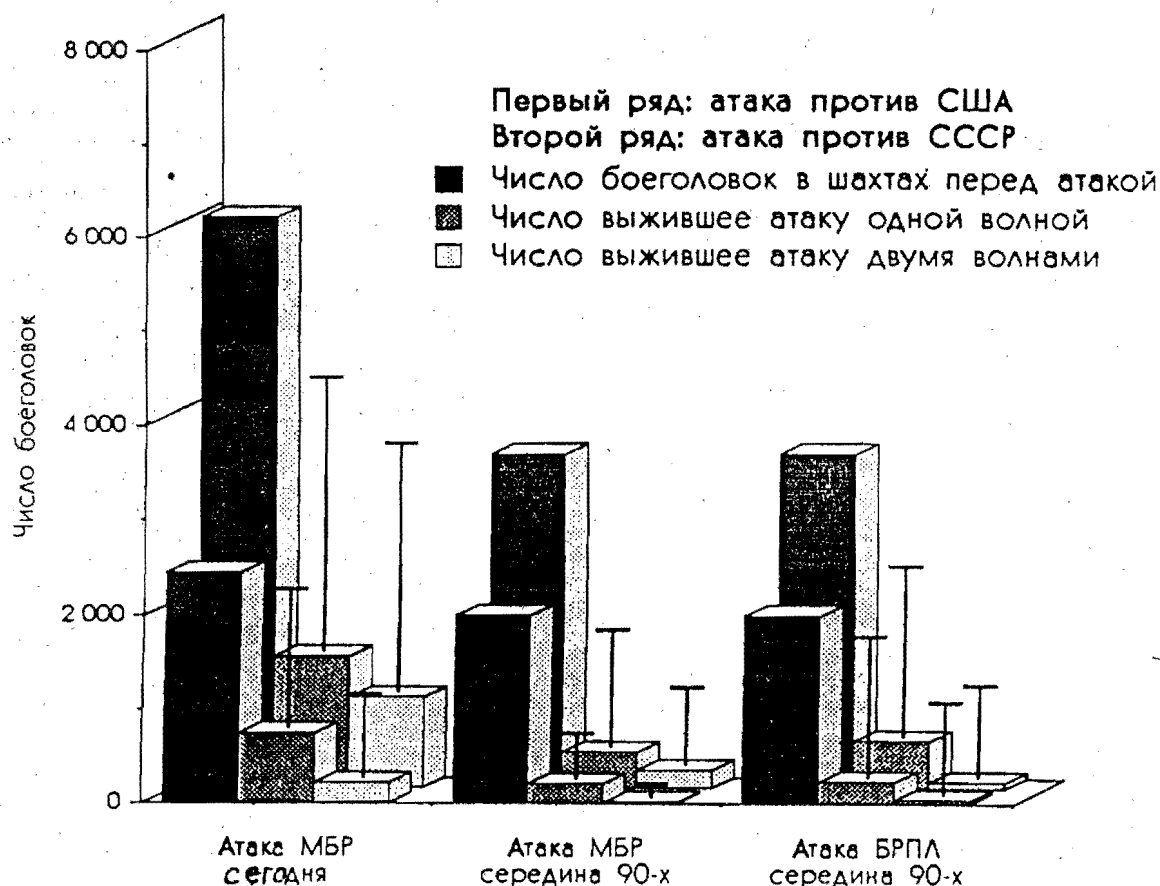


Рисунок 1

Живучесть боеголовок МБР шахтного базирования при атаках современных МБР и при атаках МБР и БРПЛ середины 90-х годов в предположении продолжающегося использования ракет с большим числом разделяющихся боеголовок. На рисунке показаны:

- полное число боеголовок в шахтах до начала атаки;
- число боеголовок, оставшихся после атаки шахт одной боеголовкой на каждую шахту;
- число боеголовок, оставшихся после атаки шахт двумя боеголовками на каждую шахту.

На рисунке показаны также интервалы результатов расчетов в зависимости от разброса исходных данных. Гистограммы построены на основе расчетов, обсуждаемых в следующей статье автора (см. стр. 53).

Следует учесть, что в настоящее время у Соединенных Штатов нет достаточного числа боеголовок высокой летальности (см. в тексте) и поэтому вариант атаки каждой шахты двумя боеголовками фактически представляет собой смешанный вариант, в котором часть шахт атакуется двумя боеголовками, а оставшиеся шахты - одной.

Таблица 1

Структура ракетно-ядерных вооружений СССР и США на май 1990 года
и возможные варианты будущей структуры

	1990 ¹	START/MIRV	START/deMIRV	Конечное сдерживание
США				
Минитмен II ²	450x1	0	450x1	0
Минитмен III	500x3	500x3	350x3	0
МХ в шахтах ³	50x10	50x10	0	0
Миджетмен в шахтах ^{2,3}	0	0	0	0
Боеголовки в шахтах	2450	2000	1500	0
МХ на железных дорогах	0	0	0	0
Миджетмен (выживаемые) ⁴	0	0	0	500x1
Боеголовки МБР	2450	2000	1500	500
Боеголовки БРПЛ	5024	2900	3400	1000
Всего боеголовок	7474	4900	4900	1500
СССР				
СС-11/13	400x1	0	0	0
СС-17	65x4	0	0	0
СС-18	308x10	154x10	0	0
СС-19	320x6	265x6	360x6	0
СС-24 в шахтах ³	40x10	40x10	0	0
СС-25 в шахтах ³	0	0	370x1	0
Боеголовки в шахтах	6060	3530	2530	0
СС-24 на железных дорогах	27x10	27x10	27x10	0
СС-25 (выживаемые) ⁴	200x1	200x1	200x1	1000x1
Боеголовки МБР	6530	4000	3000	1000
Боеголовки БРПЛ	3642	900	1900	500
Всего боеголовок	10720	4900	4900	1500
¹ Arms Control Association Fact Sheet, "Strategic Nuclear Forces of the United States and the Soviet Union", Washington DC, Arms Control Association, May 1990. ² В будущем в американских шахтах будут быть размещены два типа моноблочных ракет: или Минитмен II, или Миджетмен. ³ Предполагается, что прочность шахт будет соответствовать современной (от 100 до 500 атмосфер). ⁴ Случайно распределенные по большой площади, или, если это окажется возможным, то размещенные в сверхпрочных шахтах или в группах шахт.				

ские ракеты всегда будут уничтожены при достаточно массовой и целенаправленной атаке, независимо от способа их базирования. Ни одна из сторон не может гарантированно обеспечить безопасность своих собственных ракет. Из этого следует, что безопасность МБР может быть обеспечена только на основе взаимной договоренности обеих сторон, явной или неявной.

В мире количественных ограничений (на основе Договора о сокращении стратегических наступательных вооружений, или в сценарии "конечного сдерживания") способ базирования может рассчитывать на высокую степень живучести МБР только в том случае, если имеющая военное значение атака на эти ракеты потребует выделения большего количества ракет противника, чем может позволить себе нападающая сторона. В режиме контроля над вооружениями, в котором ограничивается число боеголовок, удобным критерием является "цена атаки", или число боеголовок, необходимое для ожидаемого уничтожения одной боеголовки противника. В табл. 2 приводятся цены двукратной атаки на современные шахты вместе с ценами атак на четыре обсуждаемых в этой статье новых способа базирования МБР.

Цены атаки современных ракетных шахт, приведенные в табл. 2, демонстрируют дестабилизирующее влияние увеличения количества боеголовок на одной ракете. Для сценария START/MIRV средняя цена атаки американских и советских МБР соответственно равна 0,6 и 0,3. Вообще говоря, можно считать, что ситуация является неустойчивой, когда цена атаки не превосходит единицы; в этом случае атакующая сторона может быть заинтересована в нанесении удара из-за того, что она может уничтожить больше боеголовок противника, чем затратит сама при нанесении удара. Отметим, что из-за большего количества боеголовок на советских ракетах цена их атаки вдвое меньше, чем для американских ракет, несмотря на то, что советские шахты, как полагают, вдвое прочнее американских.

Стабильность ситуации может повыситься, если в части существующих шахт будут установлены ракеты с меньшим количеством боеголовок. Например, в сценарии START/deMIRV (см. табл. 1) средняя цена атаки американских и советских боеголовок возрастает соответственно до 1,1 и 0,7 (почти вдвое выше, чем для сценария START/MIRV).

В режиме "конечного сдерживания", основанного на использовании ракет с одиночными боеголовками, структура МБР становится устойчивой даже в том случае, если

эти ракеты будут установлены в существующих шахтах (сценарий "конечного сдерживания" с одиночными шахтами из табл. 2). В этом случае цена двукратной атаки американских и советских боеголовок возрастает соответственно до 2,1 и 2,4. Так, например, Советскому Союзу для двукратной атаки всех американских МБР (меньшей численности по сравнению с советскими) понадобится все его наличные МБР наземного базирования и даже после такой атаки у американской стороны останется 25 ракет. Американские МБР наземного базирования не будут способны обеспечить даже одиночную атаку, а американская атака с использованием БРПЛ против советских наземных ракет потребует использования всех наличных сил, и даже после такой атаки у СССР останется около 200 ракет.

Тем не менее, консервативные обозреватели могут отметить, что ракеты с одиночными боеголовками в существующих шахтах представляют собой неустойчивую ситуацию, поскольку при этом имеется принципиальная возможность эффективной однократной атаки. В наихудшем для обороняющейся стороны случае в однократной атаке может быть уничтожено 90 процентов МБР противника при цене атаки, несколько большей единицы. Если такая атака будет проведена с использованием БРПЛ против МБР и стратегических бомбардировщиков, то атакуемая сторона останется "только" с нетронутыми ракетами на подводных лодках. Не исключено, что по этой причине замену существующих ракет в шахтах на ракеты с одиночными боеголовками более целесообразно рассматривать только как промежуточное стабилизирующее решение на пути к окончательной долговременной стабильной ситуации.

Частичное сокращение числа боеголовок на МБР (например, такое, как согласованная ликвидация типов ракет с наибольшим количеством боеголовок), может увеличить стабильность даже без введения ограничений Договора по сокращению стратегических наступательных вооружений (или "конечного сдерживания"). Напротив, действия в противоположном направлении (например, снятие с вооружения ракет "Минитмен II" с одной боеголовкой и оставление ракет "Минитмен III" с тремя боеголовками, или установка в шахтах ракет SS-24 вместо ракет SS-17 или SS-19) приведут к ухудшению стабильности.

Можно отметить, что в любом случае промежуточная структура сил, аналогичная сценарию START/deMIRV, представляется реалистичным и желательным шагом на пути к будущему решению "конечного сдержива-

Таблица 2
Цена атаки для нескольких вариантов базирования баллистических ракет

Атака американских МБР	Цена атаки	Атака советских МБР	Цена атаки
Современная ситуация¹			
Минитмен II, Миджетмен (1)	2,1	СС-25 (1)	2,4
Минитмен III (3)	0,7	СС-19 (6)	0,4
МХ (10)	0,2	СС-18, СС-24 (10)	0,25
Сценарий START/MIRV ²	0,6	Сценарий START/MIRV ²	0,3
Сценарий START/deMIRV ²	1,1	Сценарий START/deMIRV ²	0,7
"Конечное сдерживание" ³	2,1	"Конечное сдерживание" ³	2,4
Железнодорожное базирование (500 боеголовок)⁴			
МХ в гарнизоне при времени рассредоточения: менее 30 минут ⁶	0,04	СС-24 в гарнизоне при времени рассредоточения: ⁵ менее 30 минут ⁶	0,04
1 час	0,5	1 час	0,5
2 часа	1,1	2 часа	1,1
4 часа	2,9	4 часа	2,9
более суток	40	более суток	40
"Случайное базирование" ⁷	40	"Случайное базирование"	40
Базирование на транспортерах (500 боеголовок)⁸			
Миджетмен в гарнизоне при времени рассредоточения: менее 2 минут ⁹	0,6	СС-25 в гарнизоне при времени рассредоточения: менее 2 минут ¹⁰	0,2
5 минут	2,4	5 минут	0,2
10 минут	4,8	10 минут	0,2
15 минут	6,0	15 минут	0,4
30 минут	-	30 минут	1,5
60 минут	-	60 минут	4,8
"Случайное базирование" без предупреждения	2,6	"Случайное базирование" без предупреждения	2,6
5 минут	4,4	5 минут	2,8
10 минут	6,2	10 минут	3,0
15 минут	8,0	15 минут	3,2
при патрулировании	-	при патрулировании	5,2
Шахты повышенной прочности (500 боеголовок)¹¹			
Миджетмен (500x1)	2,1	СС-25 (500x1)	2,1
Минитмен III (167x3)	0,7	СС-19 (84x6)	0,35
МХ (50x10)	0,2	СС-18 (50x10)	0,2
Группы шахт (500 боеголовок)¹²			
Миджетмен (500x1)	11	СС-25 (500x1)	11
Минитмен III (167x3)	11	СС-19 (84x6)	11
МХ (50x10)	11	СС-18 (50x10)	11
¹ Атака из двух волн с надежностью 80 процентов (см. текст). ² Средняя цена атаки для всех МБР наземного базирования (см. табл.1). ³ Вариант из 500 американских и 1000 советских МБР в современных шахтах. ⁴ Исходные предположения - в подписи к рис.2. ⁵ Живучесть ракет СС-24 считалась равной живучести ракет МХ. ⁶ Этот вариант эквивалентен атаке гарнизонов (см. текст). ⁷ В США выбран вариант размещения ракет МХ в гарнизонах. ⁸ Исходные предположения - в подписи к рис.3. ⁹ Предполагалось, что атаки гарнизонов будут производиться двумя волнами боеголовки мощностью по 0,5 Мт с подводных лодок "Тайфун" или "Трайидент". ¹⁰ Фактически ракеты СС-25 располагаются в гарнизонах; в расчетах предполагалось, что площадь патрулирования равна 190 тыс. км ² . ¹¹ Предполагалось, что в этом варианте используются высокоточные боеголовки мощностью в 20 Мт. ¹² Атака производится высокоточными боеголовками мощностью в 0,5 Мт.			

ния", включающему новые, более стабильные способы базирования МБР.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ БАЗИРОВАНИЕ³⁵

В оставшейся части статьи будут рассмотрены новые, обладающие большей стабильностью, способы базирования МБР. В каждом случае мы будем рассматривать наступательные силы из 500 боеголовок.

В американском варианте железнодорожного базирования 50 ракет МХ с 10 боеголовками каждая должны быть перемещены из шахт в 25 поездов (по две ракеты в каждом), которые будут размещены в гарнизонах (по три-четыре поезда в каждом) на семи авиабазах. Поезда будут размещаться поодиночке в специальных убежищах длиной около 250 метров, не защищенных специально от действия ударной волны ядерного взрыва (порог разрушения этих убежищ соответствует избыточному давлению около 7 атмосфер).³⁶ Один из трех (или четырех) поездов каждого гарнизона будет находиться в постоянной боевой готовности с находящейся на нем полной командой. После получения приказа такой поезд может начать движение по железнодорожному пути "через несколько минут"³⁷ или "в течение получаса или менее".³⁸ Оставшиеся два или три поезда обычно не находятся в постоянной боевой готовности и для начала движения им может потребоваться несколько часов. Однако, при получении краткосрочного предупреждения о возможной атаке поезда не будут пытаться выехать с территории гарнизона, а вместо этого начнут подготовку к запуску с места базирования.³⁹ После выезда с территории гарнизона поезда могут двигаться со средней скоростью около 50 километров в час. Порог разрушения поезда при воздействии ударной волны составляет около 0,33 атмосферы, из чего следует, что произведенный на оптимальной высоте ядерный взрыв мощностью в 0,5 мегатонны способен разрушить поезда на промежутке железнодорожного пути длиной около 10 км.⁴⁰

По состоянию на май 1990 года, в СССР было развернуто 27 ракет СС-24 (с десятью боеголовками на каждой) на девяти поездах с тремя ракетами на каждой. Часть поездов размещена в длинных строениях с известным расположением (в одном месте находится три поезда), в то время как другие поезда распределены случайным образом и время от времени перемещаются по главной сети советских железных дорог с общей протяженностью в 160 тысяч километров (информацию о железнодорожном базировании ракет СС-24 получить довольно трудно; отрывочные сведения можно найти в рабо-

тах⁴¹⁻⁴⁵).

Для любой мобильной системы имеется существенное различие между "случайным базированием" в неизвестных расположениях в протяженном районе (что может быть справедливым для некоторых ракет СС-24) и "базированием в гарнизонах" в известных местах с носителями, готовыми к перемещению по полученному предупреждению (как для ракет МХ).

Цели, расположенные случайным образом на всей железнодорожной сети Советского Союза с общей длиной в 160 тысяч километров (или на всей американской сети), эффективно атаковать невозможно. Если атакующая сторона не сможет найти и уничтожить отдельные поезда, ей потребуется проводить барраж большой площади. Так, например, для железнодорожного базирования ракет МХ с обсуждавшимися выше характеристиками, атака по площадям (барраж) с 1500 боеголовками перекроет лишь малую часть железнодорожной сети и поразит лишь 6 процентов из пятисот мобильных боеголовок при цене атаки, равной 40!

Стабильность "случайного" железнодорожного базирования не зависит от количества боеголовок на мобильных ракетах, поскольку группировка боеголовок не поможет атакующей стороне, если она не может обнаружить носители. С другой стороны, "случайное" железнодорожное базирование не стабильно в смысле стабильности гонки вооружений, поскольку высокая степень группировки боеголовок на носителях (20 на американском поезде и 30 на советском поезде) заставляет атакующую сторону разрабатывать системы, способные находить и уничтожать отдельные поезда с ракетами. При успешной разработке подобных средств нападения цена атаки может уменьшиться с 40 до 0,1.

В отличие от систем "случайного" базирования, системам, расположенным в гарнизонах, необходимо стратегическое предупреждение. Для поездов нужно заблаговременное оповещение. На рис. 2 показано количество боеголовок, необходимое для барража всех 25 поездов с ракетами МХ, в зависимости от времени рассредоточения (которое определяется нами как время, проведенное в движении, и не включающее времени подготовки поезда к выходу из гарнизона), а в табл. 2 приведены цены атаки на носители в гарнизонах и вне их для различных времен рассредоточения. Для того, чтобы дать возможность поездам с ракетами рассредотачиваться в течение примерно четырех часов (при этом цена атаки повышается до 3 при использовании в ней 1200 боеголовок), необходимо заблаговременное стратегическое

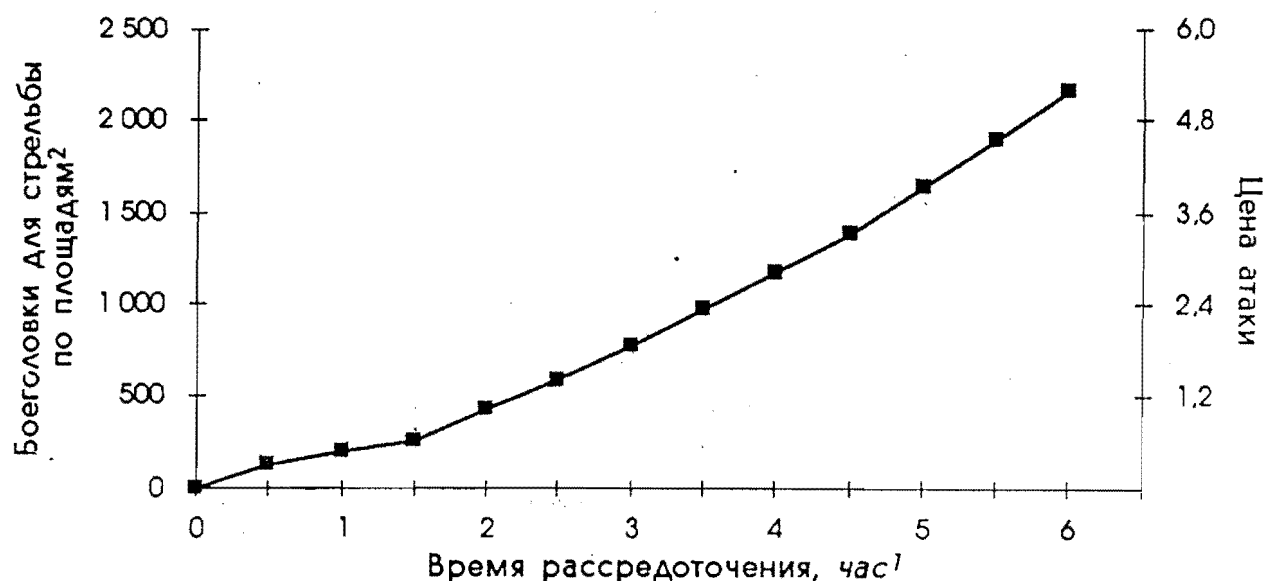


Рисунок 2

Число боеголовок мощностью в 0,5 мегатонны, необходимое для барража района расположения 500 ракет МХ железнодорожного базирования в зависимости от времени рассредоточения. Этот график построен в следующих предположениях (более детальное обсуждение приведено в примечании): доля уцелевших ракет МХ составляет 15 процентов из-за ненадежности боеголовок; боеголовки взрываются на оптимальной высоте; цели разрушаются при избыточном давлении в 0,33 атмосферы; 500 боеголовок размещены в 25 поездах, выходящих из семи гарнизонов; поезда движутся со скоростью 50 км/час.

¹ Под временем рассредоточения понимается реальное время перемещения, не включающее время подготовки поезда к началу движения. В мирное время для подготовки выхода первого поезда с ракетами МХ может потребоваться от нескольких минут до получаса, а для подготовки следующих поездов — до нескольких часов.

² При мощностях боеголовок, отличающихся от 0,5 мегатонны, показанный на графике результат надо умножить на поправочный коэффициент, равный 1,7 для мощности в 0,1 мегатонны, 1,2 — для 0,3 мегатонны, 0,8 — для 1 мегатонны и 0,3 — для 20 мегатонн.

предупреждение. При тактическом предупреждении, выдаваемом при обнаружении реального запуска советских ракет (не более чем за 30 минут до взрыва боеголовок) ракеты МХ железнодорожного базирования не смогут переместиться из известных гарнизонов в безопасные районы.

Живучесть ракет железнодорожного базирования в гарнизонах можно сравнить с живучестью стратегических бомбардировщиков. Они также представляют собой сгруппированные и сравнительно мало защищенные цели, зависящие от своевременного предупреждения, быстрого и скрытного рассредоточения. Они уязвимы при не очень точной, но быстрой атаке. Полезно сравнить временные масштабы безопасности страте-

гических систем, зависящих от поступающего предупреждения (см. табл. 3).⁴⁶

Поэтому главная опасность для расположенных в гарнизонах систем исходит от баллистических ракет на подводных лодках. Если время полета МБР до целей на территории США составляет около 30 минут, то ракеты с расположенных вблизи берегов подводных лодок достигнут целей в центральной части США через 15 минут, а при полете по настильным траекториям с повышенной энергией — через 10 минут.⁴⁷ Четырнадцать ракет с одной подводной лодки класса "Тайфун" или "Дельта IV" позволят обеспечить атаку каждой из семи баз железнодорожного базирования ракет МХ двумя ракетами. На деле для каждого гарнизона

Таблица 3
Полное время перехода зависящих от предупреждения стратегических систем
к состоянию безопасности

Стратегические бомбардировщики США в состоянии боевой готовности	10 - 15 минут
Мобильные ракеты "Миджетмен" в гарнизонах	15 минут
Мобильные ракеты СС-25 в гарнизонах	50 минут
Ракеты МХ железнодорожного базирования в гарнизонах	4 часа
Указанные в этой таблице времена, в отличие от времен рассредоточения, представляют собой полное время перехода в состояние безопасности, включающее время обнаружения атаки, время подготовки и приема команды на движение, время подготовки системы к старту и само время рассредоточения. Для мобильных ракет под состоянием безопасности понимается то время, когда цена атаки становится равной 3 (т.е., когда для уничтожения 500 боеголовок подвижных ракет потребуется 1500 атакующих боеголовок).	

потребуется выделить всего лишь две боеголовки (с разных ракет для повышения вероятности уничтожения цели, обусловленной надежностью ракет); если обстрел гарнизонов производится с подводных лодок "Тайфун" ракетами с десятью боеголовками на каждой, то оставшиеся 18 боеголовок мощностью по 0,1 мегатонны могут быть использованы для барража примерно ста километров железнодорожных путей вокруг каждого из гарнизонов.⁴⁸

Таким образом, железнодорожное базирование ракет МХ в гарнизонах провоцирует Советский Союз на атаку гарнизонов из прибрежных вод на ранней стадии кризиса. Одна дополнительная подводная лодка, добавленная к атакующим силам подводных лодок (которые рассматриваются как основная угроза для баз стратегических бомбардировщиков⁴⁹), способна уничтожить все ракеты МХ железнодорожного базирования.

Несмотря на то, что случайное базирование обеспечивает гораздо большую стабильность, проблемы, связанные с общественным мнением, вынудили США выбрать гарнизонный вариант железнодорожного базирования. Мы не знаем степени рассредоточения ракет СС-24 в мирное время; действительно "случайная" система, постоянно рассредоточенная на большей части железнодорожной сети, будет стабильной. Однако, стабильность будущей системы будет зависеть как от отсутствия проблем, вынудивших США перейти к базированию поездов в гарнизонах, так и от отсутствия систем, способных обнаруживать и уничтожать поезда с ракетами.

МОБИЛЬНОЕ НАЗЕМНОЕ БАЗИРОВАНИЕ

Американские баллистические ракеты "Миджетмен" - это ракеты с одной ядерной

боеголовкой, размещенные на специальном "защищенном подвижном носителе" (HML), способном выдержать избыточное давление ударной волны в 2 атмосферы. Носитель HML перемещается тягачом со средней скоростью 45 км/час по дорогам и по пересеченной местности. Решение о развертывании этих ракет до сих пор не принято. Рассматривались два варианта возможного развертывания этих ракет - "случайное" базирование и размещение в гарнизонах. При "случайном" базировании в мирное время ракеты должны быть размещены на государственных землях площадью в 10 тысяч квадратных километров в юго-западных штатах США; ракеты должны перемещаться с частотой, препятствующей их обнаружению противником. По тактической или по стратегической тревоге транспортеры с ракетами должны рассредотачиваться по большей площади государственных земель в 20 тысяч квадратных километров или даже переходить на частные земли. Размещение в гарнизонах должно производиться на нынешних базах ракет "Минитмен" в неукрепленных укрытиях в нескольких десятках метров от шахт, откуда они будут выезжать по получении предупреждения.

Советская баллистическая ракета СС-25 размещается в металлическом контейнере на большом незащищенном тягаче с подъемной установкой, способном перемещаться по дорогам и, с некоторыми ограничениями, по пересеченной местности. По-видимому, эта ракета способна выдержать избыточное давление в 0,15 атмосферы (прочность обычного грузовика), но не выдержит избыточного давления в 0,35 атмосферы (прочность кирпичного здания или ракеты МХ в железнодорожном вагоне); мы примем поэтому, что ракета СС-25 способна выдержать давление в 0,2 атмосферы. Все 200 разверну-

рых ракет СС-25 размещены в надземных бетонных зданиях, из которых после получения предупреждения выходят транспортеры с ракетами.⁵⁰ Почти все базы ракет СС-25 состоят из 9 ракет в отдельных зданиях, расположенных примерно в 100 метрах друг от друга (на некоторых базах находится всего по 6 ракет); следовательно, общие размеры базы не превышают примерно 800 метров. В районах базирования, размещенных на расстоянии не менее 90 километров, находится от одной до четырех ракетных баз.⁵¹

На рис. 3 показаны результаты расчетов числа боеголовок, необходимых для барража мобильных баллистических ракет наземного базирования в зависимости от времени рассредоточения в условиях мирного времени (без предварительной боевой тревоги). Объяснения расчетов и принятые предположения рассматриваются в подписи к рисунку; более подробные сведения о расчетах и обоснование принятых предположений приводятся в помещенной в этом же выпуске статье автора.⁵² В табл. 2 (так же, как и на рис. 3) приводятся значения "цены атаки" для разных способов базирования в зависимости от времени рассредоточения.

Следует отметить несколько важных особенностей. Как и ожидалось, базирование ракет "Миджетмен" и СС-25 в гарнизонах на коротком интервале времени гораздо менее стабильно, чем "случайное" базирование, хотя этот эффект выражен гораздо менее заметно, чем для железнодорожного базирования (см. рис. 2). Стабильность структуры ракет "Миджетмен" еще более уменьшается из-за размещения 500 этих ракет на 250 базах МБР "Минитмен". Это означает, что при внезапной атаке в течение первых двух минут "цена атаки" на эти ракеты будет нулевой, в том смысле, что для уничтожения ракет "Миджетмен" не потребуются дополнительных боеголовок, кроме тех, которые будут нацелены на сами шахты МБР "Минитмен". Кроме того, общее число боеголовок, необходимых для барража рассредоточивающейся системы ракет "Миджетмен", всегда будет в этом случае меньше на 250 единиц.⁵³ Другой дестабилизирующий эффект связан с тем, что базы ракет "Миджетмен" находятся на малом расстоянии (8 километров). Расширяясь со скоростью около 0,75 километра в минуту, индивидуальные области барража сливаются через 5 - 7 минут, образуя пять больших областей,⁵⁴ что проявляется в уменьшении наклона кривых на рис. 3 для базирования ракет "Миджетмен" в гарнизонах, при времени, близком к 6 минутам.⁵⁵

При одинаковом способе базирования

ракеты СС-25 будут еще более уязвимыми, чем ракеты "Миджетмен". Например, для достижения значения "цены атаки", равного 2,4 (что соответствует 1000 выделенных для барража ядерных боеголовок), ракеты СС-25 должны рассредотачиваться в течение 40 минут (по сравнению с 5 минутами для ракет "Миджетмен" при базировании в гарнизонах). Основной причиной большей уязвимости системы ракет СС-25 является меньшая живучесть транспортеров этих ракет. Еще одна причина связана с тем, что в дивизионах ракет СС-25 находится по девять установок в каждом. В другом направлении действует большее расстояние между базами ракет СС-25, равное 90 километрам по сравнению с 8 километрами для ракет "Миджетмен".

Степень выживания при барраже неопределенна по двум причинам. Во-первых, при барраже с атакой в одной волне (атака двумя волнами потребует вдвое больше боеголовок, а число уничтоженных боеголовок заметно не увеличится) вероятность выживания целей будет сильно зависеть от надежности атакующих боеголовок, значения которой не известны с достаточной точностью. Во-вторых, не известно, будут ли уничтожены транспортеры с ракетами, попавшие в промежутки между зонами поражения, которые подвергнутся воздействию двух или трех ударных волн с избыточным давлением, составляющим 70 - 80% от порога разрушения.⁵⁶ Каждый из этих аспектов внесет в вероятность выживания неопределенность порядка 10%. Детали расчетов вероятности выживания обсуждаются в работе⁵², в которой показано, что типичное значение вероятности выживания будет близко к 15 процентам. Кроме того, следует отметить, что эффективность мобильных ракет как эффективного оружия ответного удара и их живучесть будут зависеть от степени радиоактивного заражения районов базирования баллистических ракет, которая может оказаться весьма высокой.

При атаке по площадям, в которой используются такие ракеты, как СС-18 или "Трайидент-2", согласно результатам работы⁵², использование ракет с большим числом ядерных боеголовок не сильно меняет величину поражаемой площади, которая практически не зависит от числа ядерных боеголовок на ракете. Так, например, площадь поражения одной ракеты СС-18 будет примерно одинаковой и тогда, когда на ней будет установлена одна ядерная боеголовка очень большой мощности, и тогда, когда на ней будет установлено около 10 ядерных боеголовок меньшей мощности. Таким образом, по договору по СНВ каждая из сторон

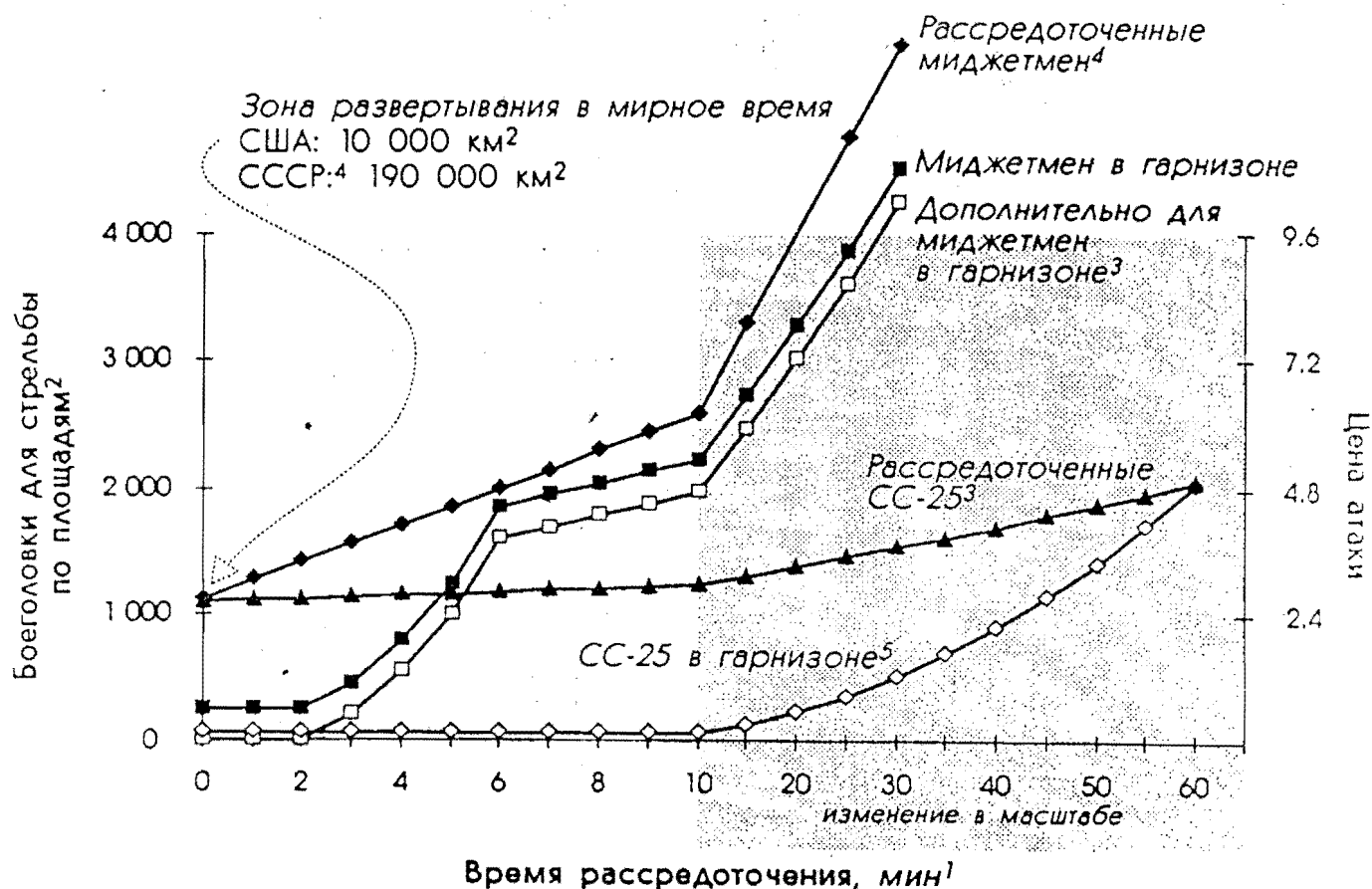


Рисунок 3

Число боеголовок мощностью в 0,5 мегатонны, необходимое для барража района рассредоточения мобильных ракет "Миджетмен" и СС-25 при "случайном" базировании и базировании в гарнизонах в зависимости от времени рассредоточения. Этот график построен в следующих предположениях: доля уцелевших ракет составляет 15 процентов из-за ненадежности боеголовок (увеличение числа атакующих боеголовок на одну треть приведет к уменьшению этой величины до 10 процентов); боеголовки взрываются на оптимальной высоте; 500 боеголовок размещены на транспортерах, движущихся со скоростью 45 км/час. Дополнительные предположения по конкретным типам ракет таковы:

- прочность транспортера "Миджетмен" 2 атмосферы, в гарнизоне находится два транспортера, гарнизоны находятся вблизи 250 шахт ракет "Минитмен" (по 50 гарнизонов в пяти позиционных районах);

- прочность транспортера СС-25 0,23 атмосферы, в гарнизоне находится девять транспортеров, гарнизоны расположены на расстоянии 90 километров друг от друга.

¹ Под временем рассредоточения понимается реальное время перемещения, не включающее время подготовки транспортера к началу движения (около 5 минут).

² При мощностях боеголовок, отличающихся от 0,5 мегатонны, показанный на графике результат надо умножить на поправочный коэффициент, равный 2,9 для мощности в 0,1 мегатонны, 1,4 - для 0,3 мегатонны, 0,6 - для 1 мегатонны и 0,09 - для 20 мегатонн.

³ Кривая дополнительных боеголовок для "Миджетменов" в гарнизоне получена вычитанием 250 боеголовок из результата расчетов; она соответствует исключению боеголовок, нацеленных на шахты ракет "Минитмен".

⁴ Две кривые для мобильных ракет со "случайным" базированием соответствуют рассредоточению ракет по площади 10 тысяч км² ("Миджетмен") и 190 тысяч км² (СС-25).

⁵ Прочность транспортеров ракет СС-25 может лежать в пределах от 0,1 до 0,3 атмосферы; в первом случае данные на графике надо поделить на 2, а во втором - умножить на 1,7.

может заменить разделяющиеся боеголовки на своих ракетах на одну мощную боеголовку, не уменьшая площади поражения при барраже, и в то же время выполняя положения договора. Например, одна боеголовка на ракетах МХ или СС-18 сможет поразить цели примерно на той же площади, что и существующий набор из десяти боеголовок, облегчая выполнение обязательств по договору по СНВ. Такое развитие событий могло быть предотвращено введением ограничений по мощности ядерных боеголовок.

Так же, как и в случае железнодорожного базирования, атака на мобильные ракеты, базирующиеся в гарнизонах, должна проводиться наиболее эффективно и быстро, т.е., с подводных лодок. Три подводных лодки класса "Тайфун" способны дважды поразить 250 гарнизонов мобильных ракет "Миджетмен", одновременно поражая без дополнительных затрат 250 расположенных рядом шахт ракет "Минитмен" (если в Советском Союзе будет создана возможность поражения шахт баллистическими ракетами с подводных лодок). Предположив, что в СССР разработан аналог баллистической ракеты "Трайидент-2" с ядерной боеголовкой мощностью 0,5 мегатонны,⁵⁷ способный уничтожать шахты, такая атака смогла бы уничтожить любой транспортер мобильных ракет на расстоянии 1,6 километра от базы (что эквивалентно двум минутам рассредоточения⁵⁸). В этом случае цена атаки будет равна 0,6, если мы предположим, что в каждой цели в среднем будет находиться две ядерных боеголовки ракет "Минитмен".⁵⁹

Ракеты СС-25 будут еще более уязвимыми. Пятьсот транспортеров с ракетами, которые могут в принципе быть развернуты, могут быть уничтожены 14 ракетами типа "Трайидент-2" с одной подводной лодки (для поражения незащищенных целей могут быть использованы и ракеты "Трайидент-1", эффективность которых для поражения защищенных целей заметно меньше); при этом цена атаки будет равна 0,2.⁶⁰ При такой атаке ядерная боеголовка мощностью 0,475 мегатонны сможет уничтожить транспортер с ракетой на расстоянии 7,1 километра от базы (что эквивалентно 10 минутам рассредоточения).

Таким образом, базирование мобильных ракет в гарнизонах не может решить проблему живучести баллистических ракет наземного базирования и стратегических бомбардировщиков США, а на деле превращает эту систему в менее живучую.

Базирование со случайным перемещением носителей будет довольно устойчивым (если не будут созданы системы поиска и уничтожения отдельных носителей) и если

предполагать, что, так же как и в случае случайного расположения ракет "Миджетмен" их развертывание в мирное время будет происходить на достаточно большой площади, то даже без предупреждения об атаке для их барража понадобится примерно 1 100 ядерных боеголовок с мощностью около 0,5 мегатонны (в этом случае цена атаки будет равна 2,6). В такой ситуации атаки с подводных лодок станут невозможными из-за слишком большого требуемого числа подводных лодок вблизи берегов атакуемой страны.⁶¹

Поскольку базирование ракет СС-25 нельзя считать случайным, данные на рис.3 относятся к гипотетической системе, для барража площади развертывания которой потребуется 1 100 ядерных боеголовок, так же как и для барража системы "Миджетмен" с площадью развертывания, в мирное время равной 10 тысячам квадратных километров. Из-за большей уязвимости транспортеров ракет СС-25 такое требование приведет к площади развертывания ракет, равной 190 тысячам квадратных километров, что соответствует площади штата Небраска.⁶²

Сценарий "конечного" сдерживания обладает еще одной интересной особенностью: случайное базирование становится настолько стабильным, что дальнейшее рассредоточение от принятого в мирное время будет просто излишним. Например, для барража площади развертывания ракет "Миджетмен" потребуется вся тысяча советских ядерных боеголовок наземного базирования, и даже после этого около 15 процентов транспортеров не будут уничтожены. Таким образом, планы по дополнительному рассредоточению после получения можно будет отменить. Так же как и в случаях шахт с повышенной устойчивостью и групп шахт, которые будут рассматриваться ниже, случайное базирование мобильных ракет не будет провоцировать внезапных атак, и не потребует заметных изменений в оперативном плане при переходе от состояния мирного времени к состоянию боевой тревоги. Более того, поскольку требования к скорости транспортера перестают быть критичными, можно еще более усилить конструкцию транспортера, обеспечив еще большую стабильность и уменьшив выделяемую площадь рассредоточения. Фактически переход к сценарию "конечного сдерживания" превратит систему мобильных ракет в систему "подвижных убежищ", в которой основной задачей перемещения будет обеспечение скрытности и требования к скорости потеряют свое значение.

В одном из рассматривавшихся режимов минимального сдерживания предполагалось,

что "лучшим решением для взаимной безопасности будет следующее: у каждой стороны должно быть примерно по 600 легких мобильных баллистических ракет наземного базирования с одной ядерной боеголовкой, а все остальные ядерные боеголовки и их носители должны быть ликвидированы".⁶³ Мы видели, тем не менее, что мобильные ракеты, размещенные на базах, или ракеты железнодорожного базирования для этой цели непригодны, и что мобильные ракеты случайного базирования либо должны быть рассредоточены по очень большой площади (для ракет СС-25 эта площадь должна быть равна по крайней мере 190 тысячам квадратных километров), либо должны быть размещены на транспортерах повышенной устойчивости (как ракеты "Миджетмен", транспортеры которых выдерживают избыточное давление около 2 атмосфер).

Были проведены обсуждения вопроса о количестве боеголовок на мобильных ракетах наземного базирования. Для размещения мобильных ракет на базах увеличение числа боеголовок на ракете приведет к дестабилизации из-за того, что скорость транспортеров уменьшится, а цена атаки уменьшится (поскольку поражение одного транспортера приведет к уничтожению нескольких боеголовок). При случайном базировании эффект дестабилизации будет небольшим, потому что группирование боеголовок не будет влиять на результат атаки, если будет обеспечена скрытность, и влияние скорости рассредоточения при случайном базировании не так важно. Тем не менее, увеличение числа боеголовок может подтолкнуть противника к разработке систем поиска и уничтожения и поэтому оно будет нестабильным в смысле неустойчивости гонки вооружений.

ШАХТЫ С ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

Обсуждения мобильных ракет оттеснили на второй план два других перспективных варианта - шахты с повышенной устойчивостью и группы шахт. Несмотря на то, что в настоящее время нельзя сделать определенных выводов по их технической и экономической осуществимости, эти варианты заслуживают обсуждения и детального анализа. Их основная особенность, отличающая их от мобильных вариантов, состоит в том, что их живучесть не зависит от своевременного получения приобретения. Они не провоцируют внезапной атаки противника, операции в мирное время почти не отличаются от операций в состоянии боевой тревоги и поэтому они не будут вносить нестабильно-

сти в кризисной ситуации.

Мы определим шахту с повышенной устойчивостью как шахту, основным механизмом разрушения которой будет не давление ударной волны, а процессы разлома и засыпания обломками в кратере, образующемся при взрыве ядерной боеголовки. Согласно этому определению, шахта повышенной устойчивости выживет в любом месте за краем кратера.⁶⁴ Расчеты на основе довольно ограниченной информации о размерах кратеров от ядерных взрывов показывают, что при благоприятных геологических условиях такие шахты должны выдерживать давление около 7 800 атмосфер.⁶⁵ В работе⁶⁶ рассматривается конструкция и техническая реализуемость шахт повышенной устойчивости. Испытания уменьшенных моделей в неядерных взрывах указывают на возможность создания подобных шахт⁶⁷, но окончательные выводы можно будет сделать только после полной технической проработки реального проекта (до сих пор не ясно, можно ли в принципе достичь необходимой прочности). Тем не менее, для дальнейшего обсуждения мы предположим, что такие шахты могут быть созданы.

В работе²⁴ получены выражения для живучести шахт с повышенной устойчивостью. Результат зависит только от так называемой "летальности" боеголовки $L = y^{2/3}/KBO^2$, где y - мощность ядерной боеголовки в мегатоннах и KBO - круговое вероятное отклонение в километрах (эта величина равна радиусу круга, вероятность попадания в который равна 50 процентам).

На рис. 4 показана вероятность выживания шахты с повышенной устойчивостью при одиночном взрыве ядерной боеголовки от кругового вероятного отклонения для трех различных мощностей боеголовок. Из этого рисунка видно, что шахты с повышенной устойчивостью остаются неуязвимыми для ядерных боеголовок с мощностью менее 0,5 мегатонны с обычной системой наведения (инерциальной системой, работающей на активном участке). Точность обычных систем наведения ограничена величиной около 75 метров,^{68,69} которая недостаточна для разрушения шахты с повышенной устойчивостью боеголовкой мощностью менее 0,5 мегатонны. Если все существующие и планируемые ядерные боеголовки будут принадлежать к этому типу, то шахты с повышенной устойчивостью смогут стать удовлетворительным решением проблемы базирования.

Тем не менее, шахты с повышенной устойчивостью будут уязвимы для ядерных боеголовок с обычной системой наведения с мощностью в интервале от 4 до 20 мегатонн,

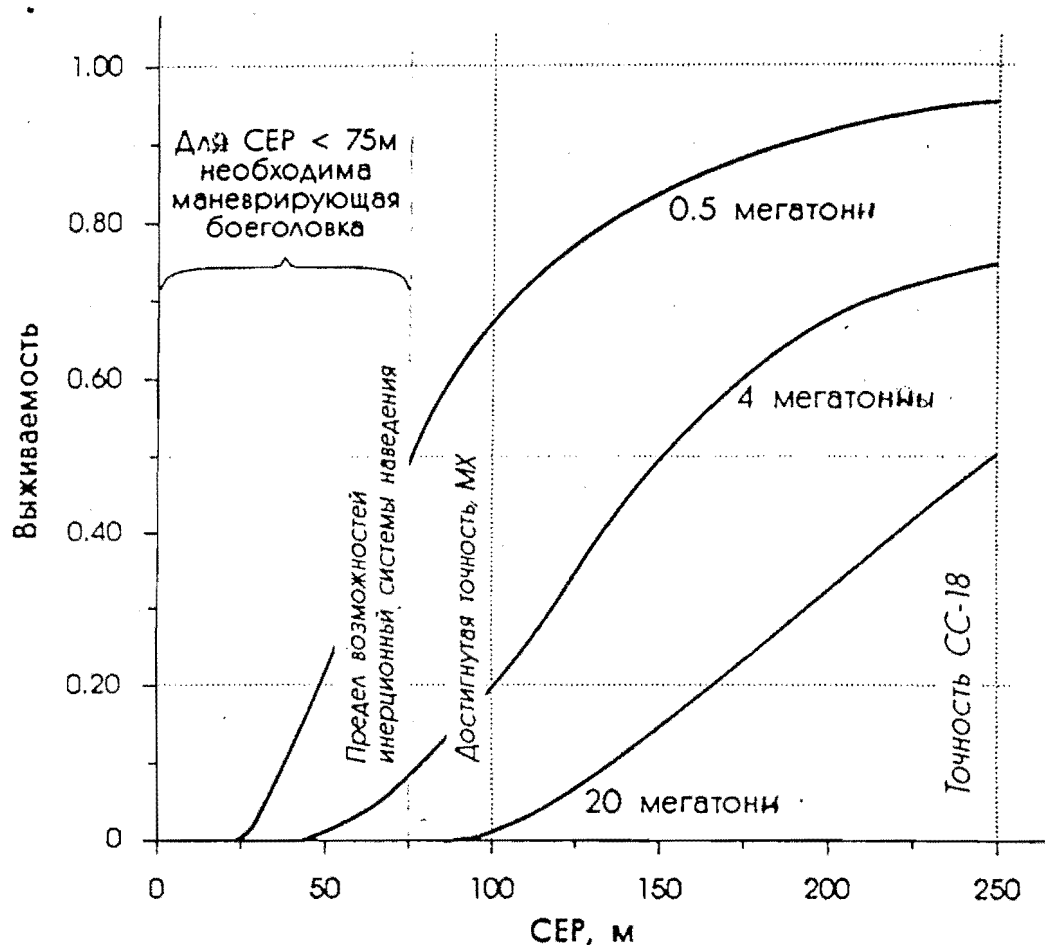


Рисунок 4

Вероятность выживания шахты с повышенной устойчивостью при атаке боеголовками трех разных мощностей в зависимости от точности боеголовки (КВО). Предполагается, что прочность шахты соответствует 7 800 атмосферам (давление ударной волны на краю кратера при благоприятных геологических условиях). Для достижения точности менее 75 метров боеголовка должна управляться на конечном участке. Мощность в 0,5 мегатонны типична для современных МБР, мощность в 4 мегатонны соответствует модификации 2 ракеты СС-19, а мощность в 20 мегатонн — модификации 3 ракеты СС-18. Рисунок взят из работы Barbara C. Levi, Mark Sakitt, Art Hobson, editors, "The Future of Land-Based Strategic Missiles", New York, American Institute of Physics, 1989.

если их точность достигнет точности боеголовки ракеты МХ. В Советском Союзе имеются две системы, которые могли бы выполнить эту задачу (модификация 3 ракеты СС-18 с боеголовкой мощностью 20 мегатонн и модификация 2 ракеты СС-19 с боеголовкой мощностью 4 мегатонны).⁷⁰ При точности в 100 метров третья модификация ракеты СС-18 обеспечит вероятность поражения шахты при атаке одной ядерной боеголовкой, равную 98%; при этом цена атаки для уничтожаемых ракет с одной боеголовкой будет ра-

вна 2,1, а процент выживания будет равен 5%. Установка нескольких боеголовки на ракетах в шахтах с повышенной устойчивостью понизит цену атаки и поэтому будет дестабилизирующей (см. табл. 2).

Шахты с повышенной устойчивостью могут провоцировать развитие маневрирующих головных частей или боеголовки-пенетраторов, которые позволят увеличить разрушающую способность боеголовки с мощностью в 0,5 мегатонны. В США разрабатывались оба типа боеголовки, и одна из них,

маневрирующая боеголовка баллистической ракеты средней дальности "Першинг II", одно время находилась на вооружении.⁷¹⁻⁷⁴ Точность боеголовки "Першинга II" предположительно составляет 40 метров⁷⁵, что может позволить боеголовке мощностью в 0,5 мегатонны разрушить шахту с повышенной устойчивостью. Боеголовка-пенетратор позволит увеличить размер кратера по крайней мере в два раза при той же самой мощности ядерного заряда, и поэтому боеголовка-пенетратор с мощностью в 0,5 мегатонны будет эквивалентна обычной боеголовке с мощностью в 4 мегатонны при атаке шахты с повышенной устойчивостью. Поэтому на рис. 4 данные по боеголовке-пенетратору с мощностью в 0,5 мегатонны будут соответствовать кривой для боеголовки в 4 мегатонны, так что при точности в 100 метров такая боеголовка сможет разрушить шахту с повышенной устойчивостью.

С другой стороны, маневрирующие боеголовки и боеголовки-пенетраторы заметно тяжелее обычных боеголовок. Например, ракета "Минитмен III" не сможет доставить маневрирующую боеголовку для ракеты "Першинг II" на межконтинентальные расстояния.⁷⁶ Аналогично, боеголовка-пенетратор тяжелее обычной боеголовки той же мощности примерно в два-три раза.⁷⁷ Поэтому большие обычные боеголовки могут оказаться столь же эффективными для поражения шахт с повышенной устойчивостью, как маневрирующие боеголовки и боеголовки-пенетраторы.

Шахты с повышенной устойчивостью будут практически неуязвимы для баллистических ракет с подводных лодок, поскольку для них трудно добиться необходимого соотношения между точностью и мощностью боеголовки. Обычные боеголовки большой мощности будут слишком тяжелы для ракет на подводных лодках. Маневрирующие боеголовки или боеголовки-пенетраторы могут быть установлены на таких ракетах только в том случае, когда они будут ненамного тяжелее, чем обычные боеголовки. Поэтому шахты с повышенной устойчивостью, скорее всего, не будут поражаться при одновременных атаках шахт и авиабаз стратегических бомбардировщиков.

ГРУППЫ ШАХТ

Базирование в группах шахт основано на скрытом размещении нескольких сотен боеголовок в нескольких тысячах шахт для того, чтобы нападающая сторона была вынуждена атаковать все шахты для уничтожения небольшого числа боеголовок. Число шахт должно быть настолько большим, что-

бы сделать сколь-нибудь эффективную атаку невозможной.

В США проводились обсуждения варианта базирования в 2 500 шахтах, расположенных на государственных землях площадью в несколько сот квадратных километров. Площадь расположения шахт выбиралась из таких соображений, чтобы каждая боеголовка не могла разрушить более одной шахты. Экономически оправданная прочность шахты (с учетом необходимости создания большого числа шахт) может достигать 700 атмосфер. Она в несколько раз превышает прочность современных шахт с ракетами "Минитмен", и может быть достигнута за счет помещения ракеты в контейнер, в котором, кроме самой ракеты, должны размещаться системы управления запуском. Ракета должна транспортироваться в контейнере, что упростит конструкцию и эксплуатацию шахт.⁷⁸

Расстояние между шахтами в 600 метров позволит шахте выдержать взрыв ядерной боеголовки с мощностью в одну мегатонну над соседней шахтой. В этом случае 2 500 шахт смогут быть размещены на площади в одну тысячу квадратных километров, что в 10 раз меньше площади, которая должна быть выделена для размещения мобильных ракет "Миджетмен" в мирное время. Если будет ожидать использование более мощных боеголовок, или если прочность шахт окажется меньшей, то выделенная площадь должна быть увеличена. Так, например, увеличение мощности боеголовок в два раза или уменьшение прочности шахта в два раза должно сопровождаться увеличением выделенной площади на 60%, чтобы оставить живучесть шахт на том же уровне.

Для того, чтобы обеспечить скрытность размещения, надо перемещать ракеты из шахты в шахту каждые несколько месяцев. Тягачи должны непрерывно двигаться между шахтами, перемещая реальные контейнеры или их макеты. В конце 70-х годов были проведены детальные исследования обеспечения скрытности в системе "множественных защитных убежищ" с горизонтальными туннелями для ракет MX.⁷⁹ Обеспечение скрытности в варианте групп шахт проще, чем в рассматривавшейся системе ракет MX, потому что перемещения производятся на меньшей площади, где легче поддерживать режим секретности, и потому что ракеты в контейнерах будут перевозиться вертикально.⁸⁰

При условии поддержания скрытности цена атаки групп шахт будет очень высокой. Даже если на каждую шахту будет выделена всего лишь одна боеголовка, то для атаки всех 2 500 шахт потребуется половина всех

ядерных боеголовок, разрешенных договором по СНВ. Если проводится атака части шахт, то цена атаки будет равна 11 при атаке каждой шахты двумя боеголовками, и 6,6 - при атаке одной боеголовкой (см. табл. 2). Так же, как и в случае случайного базирования мобильных ракет, цена атаки не будет зависеть от количества боеголовок на атакуемых ракетах. Однако, увеличение числа боеголовок спровоцирует усилия противника по обнаружению ракет в шахтах и затруднит обеспечение скрытности из-за увеличения размеров ракет.

Отсутствие скрытности значительно уменьшит цену атаки: при атаке шахт с моноблочными ракетами двумя боеголовками цена атаки будет равна 2 (так же, как и для обычных шахт), а при увеличении числа боеголовок на ракете цена атаки уменьшится пропорционально среднему числу установленных боеголовок. Таким образом, для дополнительной страховки от нарушения скрытности в группах шахт более целесообразно устанавливать ракеты с одной боеголовкой.

Группы шахт будут неуязвимы к атакам с подводных лодок, потому что даже для атаки всех шахт одной боеголовкой потребуются 13 подводных лодок типа "Трайдент". Поэтому, так же, как и в случае шахт с повышенной устойчивостью, такую систему нельзя будет атаковать с подводных лодок одновременно с авиабазами стратегических бомбардировщиков.

ИТОГИ И КОММЕНТАРИИ

В этом разделе мы рассмотрим различные режимы базирования и обсудим их с точки зрения возможности верификации соглашений и внезапного выхода из договоров. Суть внезапного выхода заключается в том, что одна из сторон сможет быстро развернуть системы оружия, запрещенные соглашениями и способные оказать заметное военное влияние. Так например, одна из сторон в принципе может быстро развернуть большое количество запасных ракет на незащищенных пусковых установках. В каждом из рассматриваемых вариантов мы будем предполагать, что у каждой из сторон будет по 500 развернутых боеголовок.

Современные шахты: ракеты с одной и несколькими боеголовками. Продолжающаяся зависимость от межконтинентальных ракет наземного базирования с большим числом ядерных боеголовок (СНВ/моноблочные, табл. 1) в будущем станет еще более дестабилизирующей, чем сейчас, несмотря на заключение договора по СНВ. В среднем цена атаки составляет всего 0,6 для

атаки на США, и 0,3 для атаки на СССР. Переход к баллистическим ракетам с меньшим числом боеголовок заметно улучшит ситуацию (СНВ/моноблочные, табл. 1); при этом цена атаки примерно удвоится и станет равной 1,1 для атаки на США и 0,7 для атаки на СССР.

Режим "конечного сдерживания", основанный на моноблочных ракетах в существующих шахтах, будет относительно устойчивым, с ценой атаки около 2 для атаки каждой шахты двумя боеголовками. Тем не менее, улучшение надежности ракет может позволить перейти к атакам шахт одной боеголовкой и при этом цена атаки может снизиться примерно до 1. Кроме того, современные шахты уязвимы для атак баллистическими ракетами подводных лодок. Даже в режиме "конечного сдерживания" крупномасштабная атака с подводных лодок по шахтам и авиабазам стратегических бомбардировщиков, или атака межконтинентальными баллистическими ракетами по шахтам, может оказаться успешной. Поэтому варианты с базированием баллистических ракет в существующих шахтах следует рассматривать только как промежуточные решения на пути к будущей структуре сил конечного сдерживания с менее уязвимыми методами базирования (см. табл. 1).

Перейдем теперь к обсуждению возможных режимов базирования с повышенной живучестью.

Размещение мобильных ракет на базах: в вагонах и на транспортерах. При расчетах цен атаки (см. табл. 2) было показано, что в этих режимах при внезапной атаке значения цены атаки лежат в пределах от 0,04 до 0,6. Всего лишь одна подводная лодка классов "Тайфун", "Дельта IV" или "Трайдент" при скрытой внезапной атаке способна поразить весь арсенал развернутых на базах ракет МХ или СС-25, а три подводных лодки "Тайфун" способны поразить весь арсенал ракет "Миджетмен", нанеся при этом серьезный ущерб находящимся рядом с ними 250 шахтам с ракетами "Минитмен". Поскольку в этих вариантах существует возможность нанесения успешного ядерного удара с подводных лодок, они допускают одновременную атаку баллистических ракет и авиабаз стратегических бомбардировщиков с морской компоненты стратегической триады.

Наихудшим вариантом следует считать железнодорожное базирование, которому необходимо предупреждение за четыре часа до начала атаки. Базирование мобильных ракет на базах требует предупреждения за 15 минут (для ракет "Миджетмен") или за 50 минут до начала атаки (для ракет СС-25). В дополнение к зависимости от предупрежде-

ния об атаке, в этих вариантах базирования необходимо проводить открытые и, возможно, дестабилизирующие операции при боевой тревоге в кризисной ситуации.

Если будут приняты такие варианты размещения баллистических ракет, то могут потребоваться дополнительные соглашения о запрещении систем поиска и разрушения, баллистических ракет на подводных лодках с настильными траекториями, и запрещении патрулирования подводных лодок с баллистическими ракетами в прибрежных районах. Ни договор по СНВ, ни ограничения режима "конечного сдерживания", не помогут стабилизировать эти варианты, поскольку масштабы дестабилизирующих атак очень малы.

Верификация соглашений по числу ракет может быть проведена при помощи кооперативных мероприятий, включающих электронные метки, проверку въезда на базы, периодическое открытие крыши ангаров, объявление районов развертывания и внезапные инспекции.⁵¹ Скрытое увеличение количества ракет не окажет серьезного влияния на живучесть ракет, размещенных на базах, поскольку главная причина их уязвимости заключается в малых масштабах успешной ядерной атаки.

"Случайное" размещение мобильных ракет: в вагонах и на транспортерах. В этом случае цена атаки изменяется от 2,5 (мобильные ракеты на транспортерах без предупреждения об атаке) до 40 (мобильные ракеты в железнодорожных вагонах). Если у противника не будет систем поиска и уничтожения, то эти режимы будут достаточно стабильными. Атаки с подводных лодок невозможны (из-за больших требуемых масштабов), так что одновременные атаки баллистических ракет и стратегических бомбардировщиков провести нельзя. Несмотря на то, что живучесть ракет в этих вариантах не очень сильно зависит от своевременного предупреждения об атаке, при его получении она будет повышаться, и в этих вариантах базирования надо будет проводить легко наблюдаемые и, возможно, дестабилизирующие операции при боевой тревоге в кризисной ситуации.

В режиме "конечного сдерживания" будет наблюдаться интересный эффект преобразования системы случайно перемещающихся транспортеров с ракетами в систему "подвижных убежищ". Из-за того, что боеголовок противника не хватит даже для барража района рассредоточения в мирное время, конечное сдерживание делает систему настолько устойчивой, что планы увеличения района рассредоточения в кризисной ситуации становятся ненужными, и система мо-

бильных ракет не будет проводить противника на нанесение внезапного удара и не потребует существенного изменения наблюдаемых операций в кризисной ситуации по сравнению с мирным временем. Кроме того, поскольку скорость перемещения перестает быть критическим фактором, броня транспортеров может быть усилена. При модернизации транспортера ракеты "Миджетмен" легко можно будет достичь прочности более 2 атмосфер, что, в свою очередь, позволит значительно сократить площадь выделяемой земли по сравнению с текущим проектом, и, тем более, с требованиями по стабильному рассредоточению ракет СС-25.

Тем не менее, все варианты мобильного базирования неустойчивы в смысле "нестабильности гонки вооружений", поскольку они провоцируют противника к разработке новых систем поиска и уничтожения. Такие системы оружия будут играть крайне дестабилизирующую роль. Поэтому верифицируемое соглашение по запрещению систем поиска и уничтожения должно значительно увеличить стабильность вариантов случайного базирования мобильных ракет.

Количественная проверка выполнения соглашений по ограничению числа мобильных ракет довольно сложна, но в принципе возможна (при использовании методов, обсуждавшихся в предыдущем разделе). Расширение района рассредоточения эквивалентно увеличению числа ракет, и поэтому особых опасений по этому способу внезапного нарушения соглашений нет. Однако, следует учесть, что опыт американской программы MX показывает, что такое расширение может оказаться трудным с политической точки зрения, если оно потребует проведения операций в мирное время на земле, не принадлежащей правительству.

Шахты с повышенной устойчивостью и группы шахт. Необходимо провести детальную конструкторскую разработку обеих вариантов. Если предположить, что они будут технически осуществимы, то можно будет сделать следующий вывод: шахты с повышенной устойчивостью должны быть неуязвимы в настоящее время, и они останутся такими, если будет введен запрет на использование всех ядерных боеголовок высокой летальности, т.е. боеголовок с мощностью более 1 мегатонны, боеголовок с наведением на конечном участке и боеголовок-пенетраторов. Даже если такие боеголовки будут разработаны, их развертывание не обязательно дестабилизирует базирование в шахтах с повышенной устойчивостью, но оно может снизить цену атаки приблизительно до 2 (в предположении, что проблемы надежности боеголовок не позволят проводить

атаку каждой шахты одной боеголовкой). Более того, используемые в таких атаках боеголовки должны обладать весьма высокой точностью и их вес, скорее всего, будет довольно большим, и потребует применения моноблочных тяжелых межконтинентальных баллистических ракет. В шахтах с повышенной устойчивостью будет нецелесообразно устанавливать ракеты с разделяющимися боеголовками.

Цена атаки групп шахт будет равна примерно 10, что не позволяет провести достаточно массированную атаку. Стабильность размещения ракет в группах шахт не будет зависеть от количества боеголовок на ракетах, если будет обеспечена скрытность перемещения и размещения ракет, хотя увеличение числа боеголовок затруднит проведение скрытных операций.

Скорее всего, эти варианты базирования не станут уязвимыми к ядерной атаке с подводных лодок. В отличие от вариантов с мобильными ракетами, их уязвимость не будет зависеть от своевременности предупреждения об атаке и в них не будут нужны операции по боевой тревоге, заметно отличающиеся от операций в мирное время. Единственными факторами, которые смогут заметно снизить живучесть этих вариантов, будут повышение надежности ракет и боеголовок (которое позволит перейти к атаке каждой шахты одной боеголовкой и понизить цену атаки примерно вдвое) и нарушение скрытности перемещения и установки ракет.

Верификация шахт с повышенной устойчивостью может быть легко проведена при помощи национальных технических средств. Размещение в группах шахт потребует простых кооперативных мероприятий, аналогичных обсуждавшимся в проекте "множественных защитных убежищ" для ракет МХ, с которым у данного варианта имеется много общих черт.⁸² Некоторые из шахт могут время от времени открываться для проверки со спутников.

В этих режимах внезапно нарушить режим договора будет довольно трудно, поскольку для постройки новых шахт требуется значительное время. Поэтому стабильность этих вариантов может быть обеспечена строгими мерами контроля над ядерными вооружениями.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор благодарит своих коллег по рабочей группе изучения живучести баллистических ракет Форума "Физика и общество" Американского физического общества за многочисленные полезные и дружеские

обсуждения: Поля Крэйга, Дэвида Хафемейстера, Рут Хоуэс, Джона Миченера, Марка Сакитта, Лео Сартори, Валерию Томас, Питера Циммермана и, в особенности, руководителя группы Барбару Дж. Леви. Критические замечания Фрэнка фон Хиппеля и Гарольда Фейвесона были весьма вдумчивыми и наиболее полезными. Полезная информация была предоставлена Томасом К. Лонгстритом. Автор благодарит также Стокгольмский международный исследовательский институт проблем мира за то, что в 1985 году этот институт предоставил ему возможности, время и содействие для того, чтобы начать серьезное исследование проблем базирования межконтинентальных баллистических ракет.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Arms Control Association Fact Sheet, "Strategic Nuclear Forces of the United States and the Soviet Union", Washington, DC, Arms Control Association, May 1990.
2. Barbara G. Levi, Mark Sakitt, Art Hobson, eds., "The Future of Land-Based Strategic Missiles", New York, American Institute of Physics, 1989.
3. Harold A. Feiveson, Richard H. Ullman, Frank von Hippel, "Reducing US and Soviet Nuclear Arsenals", Bulletin of the Atomic Scientists, August 1985, pp. 144 - 150.
4. Harold A. Feiveson, Frank von Hippel, "Beyond START: How to Make Much Deeper Cuts", International Security, Summer 1990, pp. 154 - 180.
5. Frank von Hippel, Roald Sagdeev, eds., "Reversing the Arms Race", New York, Gordon and Breach, 1990.
6. Сценарий: "конечного сдерживания" рассматривается в статье Thomas K. Longstreth, "Beyond START: Deep Reduction in Strategic Nuclear Forces", Federation of American Scientists Public Interest Report, September 1989, pp. 1 - 11.
7. Frank von Hippel, "The Technical Basis for Deep Reductions", Federation of American Scientists Public Interest Report, November 1989, p. 7.
8. Office of Technology Assessment, "MX Missile Basing", Washington, DC, Government Printing Office, 1981.
9. Brent Scowcroft (chairman), "Report of the President's Commission on Strategic Forces", Washington, DC, Library of Congress, 1983.
10. John M. Deutch, "The Decision to Modernize US Intercontinental Ballistic Missi-

- les", *Science*, 23 June 1989, pp. 1445 - 1450.
11. "The ICBM Land-Basing Controversy", *International Security*, Fall 1987, pp. 152 - 202.
12. Antonia H. Chayes, "Managing the Politics of Mobility", *International Security*, Fall 1987, pp. 154 - 162.
13. Russell E. Dougherty, "The Value of the ICBM Modernisation", *International Security*, Fall 1987, pp. 163 - 172.
14. Donald A. Hicks, "ICBM Modernization: Consider the Alternatives", *International Security*, Fall 1987, pp. 173 - 181.
15. Jan M. Lodal, "SICBM Yes, HML No", *International Security*, Fall 1987, pp. 182 - 186.
16. Jack Ruina, "More Is Not Better", *International Security*, Fall 1987, pp. 187 - 192.
17. John C. Toomay, "Strategic Forces Rationale - A Lost Discipline?", *International Security*, Fall 1987, pp. 193 - 202.
18. Steven A. Hildreth, J. Medalia, Amy F. Woolf, "Strategic Policy at a Crossroads", Congressional Research Service Report for Congress, Washington, DC, Library of Congress, 30 March 1989.
19. John M. Deutch (chairman), "Report of the Defense Science Board Task Force: Small International Ballistic Missile Modernization", Washington, DC, Department of Defense, March 1986.
20. "Report to Congress: Status of the Intercontinental Ballistic Missile Modernization Program", Washington, DC, General Accounting Office, 8 July 1985.
21. Jonathan E. Medalia, "Assessing the Options for Preserving ICBM Survivability", Washington, DC, Congressional Research Service, September 1981.
22. См. ссылку 4, стр. 162.
23. См. ссылку 5, стр. 32.
24. Арт Хобсон, "Расчет уязвимости ракет шахтного базирования", *Наука и всеобщая безопасность*, 1992, т. 2, вып. 3, стр. 53 (этот выпуск).
25. Michael E. Brown, "The US Manned Bomber and Strategic Deterrence in the 1990s", *International Security*, Fall 1989, pp. 10 - 12, 17 - 24.
26. Donald Rice, "The Manned Bomber and Strategic Deterrence: The US Air Force Perspective", *International Security*, Summer 1990, pp. 100 - 128.
27. Michael E. Brown, "The Case Against the B-2", *International Security*, Summer 1990, pp. 129 - 153.
28. Этот аргумент часто используется для обоснования одновременного развертывания МБР и стратегических бомбардировщиков (см. ссылку 9, стр. 7 - 8).
29. Заявление министра обороны США Ричарда Чейни, цитированное в "Cheney: Soviet Nuclear Upgrade Continues", *Aerospace Daily*, 24 August 1989, pp. 336 - 337.
30. "Soviet Military Power 1989", Washington, DC, US Department of Defense, September 1989, p. 47.
31. По крайней мере с 1976 года на отдельных американских МБР устанавливаются четыре (или более) заранее запрограммированных набора целей, один из которых может быть выбран непосредственно перед запуском ракеты (набор целей представляет собой перечень точек прицеливания для каждой из установленных на ракете боеголовок). Это обсуждается в статье "Targeting Flexibility Emphasized by SAC", *Aviation Week and Space Technology*, 10 May 1976, pp. 29 - 34. Таким образом, атака с использованием N ракет может быть поддержана всего лишь N/4 ракетами, постоянно готовыми прийти на смену ракете, вышедшей из строя на активном участке полета. Это позволяет практически исключить потери атакующих ракет на активном участке, доведя эффективную надежность до значения, соответствующего только последующим стадиям полета (эту величину часто принимают равной 90 процентам).
32. John D. Steinbruner, Thomas M. Garwin, "Strategic Vulnerability: The Balance Between Prudence and Paranoia", *International Security*, Summer 1976, pp. 148 - 150.
33. Desmond Ball, Robert C. Toth, "Revising the SIOP: Taking War-Fighting to Dangerous Extremes", *International Security*, Spring 1990, pp. 69, 81, 85.
34. David F. Bond, "House Cuts Funding for Modernizing USAF's ICBM Launch Control Centers", *Aviation Week & Space Technology*, 21 August 1989, p. 69.
35. Хороший обзор этой проблемы можно найти в статье Barry E. Fridling, John R. Harvey, "On the Wrong Track? An Assessment of MX Rail Garrison Basing", *International Security*, Winter 1988/89, p. 113 - 141.
36. Поскольку горизонтальные надземные убежища длиной в 260 метров, в которых будут размещаться поезда, "не предоставляют существенной защиты от ядерной атаки" (см. ссылку 35), их порог разрушения очевидно не превышает избыточного давления в 20 атмосфер (прочность шахт для снятых с

- вооружения МБР "Титан"). Похоже, что порог разрушения убежищ должен превышать порог поражения защищенных транспортеров ракет "Миджетмен" (избыточное давление в 2 атмосферы). Согласно замечке Robert Zirkle, "MX Takes to the Rails - But Same Old Problems Ride Along", Nucleus: Quaterly Report of the Union of Concerned Scientists, Summer 1987, p. 5, порог разрушения убежищ для железнодорожных поездов в МБР составляет 7 атмосфер.
37. "MX Rail System Nears Full-Scale Development", Aviation Week & Space Technology, 25 April 1988, pp. 18 - 19.
 38. Ссылка 35, стр. 120.
 39. Конечно, эти действия не стабилизируют систему стратегических сил, а фактически являются одним из вариантов нестабильности, которых нам хотелось бы избежать. Способность запуска по оповещению подтверждает надежды ВВС США на возможность получения краткосрочного предупреждения. Эти и другие детали схемы железнодорожного базирования ракет MX можно найти в ссылке 37. Фридлиг и Харви (ссылка 35, стр. 126 - 128) отмечают, что в случае краткосрочного предупреждения об атаке с подводных лодок времени для получения и выполнения команды запуска по предупреждению все равно не хватит.
 40. Несмотря на то, что короткая внезапная атака на гарнизоны железнодорожного базирования, скорее всего, будет производиться с подводных лодок, вероятно, что барраж больших участков железнодорожного пути будет проводиться МБР наземного базирования с ядерными боеголовками мощностью около 0,5 мегатонны, из-за трудностей с обеспечением вывода в прибрежные воды большого количества подводных лодок, необходимого для барража больших площадей. Типичная боеголовка ракет на подводных лодках мощностью в 0,1 мегатонны способна поразить железнодорожные поезда с ракетами на участке пути длиной в 6 километров, что повышает цену атаки на 70 процентов по сравнению с боеголовками мощностью в 0,5 мегатонны.
 41. "Mobile Missiles Still a Problem Despite Wyoming Agreement", Washington Times, 26 September 1989, p. 4.
 42. "US Satellites Detect Marked Increase in Mobile Soviet ICBMs", Washington Times, 14 October 1988, p. 6.
 43. "Soviets Have 9 - 30 Rail Mobile SS-24s", Defense Daily, 9 May 1989, p. 4.
 44. "B-2 Only System Able to Attack Relocatable Targets", Defense Daily, 7 March 1990, p. 356.
 45. Steven J. Zaloga, "Land-Based Logic Drives Soviet Mobile ICBM Effort", Armed Forces Journal International, November 1988, pp. 27 - 28.
 46. Обоснование данных, приведенных в табл. 3, таково. Как показано Брауном (см. ссылку 25), при атаке ракетами с подводных лодок с временем полета от 10 до 15 минут доля находящихся в боевой готовности стратегических бомбардировщиков, которые окажутся в безопасности, составит от 65 до 87 процентов. Эти 10 - 15 минут будут использоваться следующим образом: 1,5 минуты понадобится американской системе раннего оповещения для передачи сигнала тревоги на базы стратегической авиации; 5 минут потребуется экипажам бомбардировщиков на посадку в самолеты, на запуск двигателей и на выруливание на взлетно-посадочную полосу; и на время рассредоточения для выхода из-под барражной атаки останется от 3 до 8 минут. Аналогичные данные приводятся в докладе Congressional Budget Office, "Modernizing US Strategic Offensive Forces", Washington, DC, US Government Printing Office, 1983, appendix E, pp. 99 - 110. Для мобильных ракет "Миджетмен" и SS-25 мы предполагаем, что для оповещения необходимы те же самые полторы минуты; для начала движения необходимо меньшее время (2,5 минуты), потому что транспортерам не надо выруливать на взлетную полосу и одна дополнительная минута выделяется на преобразование установки в защищенную конфигурацию. Таким образом, время выхода в безопасную зону будет на 5 минут больше реального времени перемещения, приведенного в табл. 2 и на рис. 3.
 47. Harold A. Feiveson, Frank von Hippel, "The Freeze and the Counterforce Race", Physics Today, January 1983, рис. на стр. 42.
 48. Боеголовка ракет с подводных лодок мощностью в 0,1 мегатонны уничтожит укрытие поезда с порогом разрушения в 7 атмосфер на расстоянии в 500 метров. Расчет вероятности поражения (см. следующую статью автора в этом же выпуске) показывает, что при круговом вероятном отклонении в 200 метров вероятность выживания цели будет равна 1,3 процента; с учетом надежности ракеты в 80 процентов вероятность

- выживания цели при атаке двумя боеголовками будет равна 4 процентам. Точки прицеливания оставшихся 18 боеголовок двух ракет СС-Н-20, выделенных на каждый гарнизон, должны быть расположены внутри области разведения боеголовок длиной в несколько сотен километров и шириной в несколько десятков километров; они могут быть нацелены на объекты на авиабазе или на железнодорожные пути. При барраже железнодорожных путей эти боеголовки могут перекрыть участок пути в 5,9 километра на боеголовку с общей длиной в $5,9 \cdot 18 = 106$ километров. Такая длина барражируемого трека около каждого гарнизона соответствует времени рассредоточения примерно в 15 минут (см. ссылку 35). Для семи гарнизонов потребуется 14 ракет с подводных лодок. Степень выживания, равная 14 процентам, определяет цену атаки в 0,04 (если учитываются только две боеголовки на гарнизон), или в 0,4 (если учитываются все 20 боеголовок на двух ракетах).
49. См. ссылку 25.
 50. Так же, как и при железнодорожном базировании ракет МХ в гарнизонах, при внезапной атаке ракеты СС-25 могут быть запущены прямо с ракетных баз, что еще раз подтверждает нестабильность системы.
 51. Информация о ракетах СС-25 и об их предшественниках, ракетах средней дальности СС-20, базирование которых во многом походило на базирование ракет СС-25, приводится в работе Thomas B. Cochran, William M. Arkin, Robert S. Norris, Jeffrey I. Sands, "Nuclear Weapons Databook, Volume 4", New York, Ballinger, 1989. Сведения о размещении ракет на базах приведены на стр. 194 - 195. Размеры баз взяты из схем, приведенных в разъясняющем меморандуме Договора по ракетам малой и средней дальности.
 52. Арт Хобсон, "Расчет живучести мобильных ракет", Наука и всеобщая безопасность, 1992, т. 2, вып. 3, стр. 58 (этот выпуск).
 53. При этом предполагается, что Советский Союз попытается одновременно атаковать базы ракет "Миджетмен" и "Минитмен". Следует отметить также, что размещение ракет "Миджетмен" в гарнизонах вряд ли приведет к снятию с вооружения ракет "Минитмен" в шахтах, поскольку основным аргументом в пользу размещения ракет в гарнизонах является экономия средств, связанная с использованием существующей структуры управления и обслуживания МБР "Минитмен".
 54. Мы предполагаем, что будет организовано пять отдельных районов базирования ракет "Миджетмен" (см. ссылку 52).
 55. Аналогичные рисунки в работе Barbara G. Levi, Mark Sakitt, Art Hobson, eds., "The Future of Land-Based Strategic Missiles", New York, American Institute of Physics, 1989, не показывают этого эффекта и их следует исправить за его влияние. На рис. 3 на кривых для ракет СС-25 такой эффект не виден, потому что в этом случае его влияние должно проявиться при временах около 60 минут.
 56. См. ссылку 52, примечание 1.
 57. Soviet Military Power 1989, p. 47. В Советском Союзе в 1988 году были также развернуты модифицированные версии ракеты СС-Н-23 для подводных лодок "Дельта IV", а в недалеком будущем там будут проведены испытания ракеты СС-Н-20 для подводных лодок "Тайфун". Обе программы направлены на то, чтобы повысить точность и увеличить мощность ядерных боеголовок указанных систем для того, чтобы баллистические ракеты с подводных лодок могли поражать защищенные цели.
 58. В этой статье под временем рассредоточения понимается реальное время движения со скоростью 0,75 километра в минуту, не включающее времени приема команды на рассредоточение, начала движения и развертывания системы защиты. Для мобильных ракет наземного базирования эти операции могут потребовать до пяти минут (см. ссылку 46).
 59. Пятьдесят баллистических ракет на подводных лодках "Тайфун" с десятью боеголовками на каждой (три подводных лодки) способны направить по две боеголовки на каждую из 250 баз. Предполагая, что избыточное давление разрушения $S = 5$ атмосферам, мощность боеголовки $u = 0,5$ мегатонны, круговое вероятное отклонение КВО = 200 метрам и надежность равна 80 процентам, получим, что вероятность выживания при атаке двумя боеголовками равна 1 проценту, и что цена атаки равна 1,01 (если учитывать только те цели, которые связаны с ракетами "Миджетмен"). Если мы будем учитывать и ракеты "Минитмен", на которых в среднем устанавливается по две ядерных боеголовки, и вероятность выживания которых в этом случае равна 18 про-

- центрам, то цена атаки станет равной 0,56. Следует учесть, что настильные траектории, обеспечивающие большую внезапность нападения, не могут быть использованы для одновременной атаки шахт и транспортеров, поскольку для этих траекторий точность будет значительно ниже.
60. Предполагая, что прочность ангара соответствует избыточному давлению в одну атмосферу, КВО = 140 метрам, надежность равна 80 процентам и максимальный размер базы равен 800 метрам, то вероятность разрушения ангара с ракетой при взрыве ядерной боеголовки ракеты "Трайдент II" будет равна 100 процентам, а вероятность выживания при атаке двумя боеголовками будет равна 4 процентам. Повышение прочности ангара до 10 атмосфер не изменит ситуации. Практически такая же вероятность выживания будет получена при использовании ракет "Трайдент I" (КВО = 400 метрам и мощность равна 0,1 мегатонны). Соответствующая цена атаки будет равна 0,2. В настоящее время все 200 развернутых транспортеров ракет СС-25 (около 22 баз с девятью ракетами на каждой), по-видимому, расположены в трех позиционных районах вблизи Перми, примерно в 1000 километров к востоку от Москвы. Баллистические ракеты с подводных лодок в Норвежском море способны преодолеть расстояние в две тысячи километров за 13 минут (или за 8 минут по настильным траекториям, см. ссылку 47). Будущие силы с пятьюстами мобильными ракетами могут быть размещены в семи позиционных районах с восемью базами в каждом, и на каждой базе будут находиться по девять транспортеров с ракетами. В этом случае каждый из позиционных районов может быть уничтожен двумя баллистическими ракетами "Трайдент I" или "Трайдент II" с восемью боеголовками на каждой, и все семь позиционных районов могут быть уничтожены 14 баллистическими ракетами с одной подводной лодки "Трайдент".
 61. Для барража района рассредоточения мирного времени потребуется 15 подводных лодок "Тайфун" с двумястами ядерных боеголовок мощностью по 0,1 мегатонны. Однако, если мощность ядерных боеголовок будет равна 0,5 мегатонны (напомним, что на одной подводной лодке "Трайдент" находится 192 ядерных боеголовки мощностью по 0,475 мегатонны), то для атаки понадобится всего 6 подводных лодок.
 62. Зависимость от прочности транспорта такова: при прочности в 0,4 атмосферы площадь рассредоточения должна быть равна 110 тысячам квадратных километров, а при прочности в 0,08 атмосферы - 400 тысячам квадратных километров.
 63. "Стратегическая стабильность в условиях радикальных сокращений ядерных вооружений", Комитет советских ученых в защиту мира, против ядерной угрозы, 1987; см. также Thomas K. Longstreth, "Beyond START: Deep Reductions in Strategic Nuclear Forces", Federation of American Scientists Public Interest Report, September 1989, p.11.
 64. Более строго, край кратера означает в этом случае край внутренней части кратера, в которой горные породы размельчаются, а не внешней части, которая формируется при обжатию грунта ударной волной. Следует отметить, что некоторые авторы используют термин "шахта с повышенной устойчивостью" для описания шахт, способных выдерживать избыточное давление в 500 - 1000 атмосфер, в то время как другие авторы придерживаются нашего определения.
 65. См. ссылку 24.
 66. Джон Миченер, "Конструкция и техническая реализуемость шахт повышенной прочности", Наука и всеобщая безопасность, 1992, т. 2, вып. 3, стр. 68 (этот выпуск).
 67. Там же.
 68. Matthew Bunn, "Technology of Ballistic Missile Reentry Vehicles", report number 11, Program in Science and Technology for International Security, Cambridge, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology, 1984, p. 30. В этой работе показано, что минимально возможная точность боеголовки без управления на конечном участке составляет от 50 до 70 метров.
 69. Donald MacKenzie, "Missile Accuracy - An Arms Control Opportunity", Bulletin of the Atomic Scientists, June/July 1986, p. 15. В этой работе отмечается, что практическая точность боеголовок с обычной системой наведения соответствует точности боеголовок ракеты MX и составляет около 100 метров.
 70. Barton Wright, "Soviet Missiles: Data From 100 Unclassified Sources", Lexington, Massachusetts, Lexington Books, 1986. Не исключено, что эти большие ядерные боеголовки в настоящее время сняты с вооружения.
 71. Matthew Bunn, "The Next Nuclear Offen-

- sive", Technology Review, January 1988, pp. 29 - 38.
72. См. ссылку 69, стр. 15.
73. "From MaRV to Microwaves: New Weapons for Nuclear War", Nucleus, Spring 1988, pp. 1, 4, 5.
74. См. ссылку 33, стр. 76.
75. См. ссылку 71, стр. 31.
76. См. ссылку 69, стр. 15.
77. John R. Harvey, Allan B. Schaffer, Roger Speed, Anthony F. Todaro, "Carry Hard ICBM Basing: A Technical Assessment", Center for Technical Studies on Security, Energy and Arms Control, Livermore, California, Lawrence Livermore National Laboratory, 1989, p. 13.
78. Там же, стр. 3 - 6. В этой работе предполагалось, что шахта представляет собой конструкцию с открытым верхом, состоящую из внутренней оболочки из гофрированной стали, окруженную слоем гравия снаружи, расположенную в пористом грунте и заполненную в верхней части водой (вода покрывает закрытую капсулу с ракетой слоем толщиной в несколько метров). Испытания показали, что при прохождении ударной волны через воду радиальное расширение оболочки ослабляет избыточное давление в ударной волне с 700 атмосфер в воздухе до 200 атмосфер на поверхности капсулы. Защищенная ракета внутри капсулы сможет выдержать действие остаточной ударной волны.
79. См. ссылку 8, стр. 35 - 40.
80. Вертикальное перемещение и установка уменьшают сейсмические и вибрационные сигнатуры операций, которые представляют проблему для системы "множественных защитных укрытий". Исследования показали, что вертикальное перемещение ракет "Миджетмен" и "Минитмен III" вполне возможно, и то же самое можно сказать и про большие ракеты MX. Среди основных проблем в программе разработки группового базирования следует выделить доказательство возможности скрытного вертикального перемещения (см. ссылку 77, стр. 6 - 8).
81. См. ссылку 2, стр. 101 - 122, и ссылку 4, стр. 174.
82. См. ссылку 8, стр. 58 - 59.

РАСЧЕТ ЖИВУЧЕСТИ РАКЕТ ШАХТНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Арт Хобсон

В этой заметке рассматривается стандартная модель живучести ракет в шахтах при ядерном ударе¹ и ее модификация для шахт повышенной живучести. Обычно считают, что эта идеализированная модель достаточно точна для большинства приложений, поскольку неопределенности в численных значениях исходных данных, как правило, значительно больше неточностей, связанных с принятыми упрощениями.²

Автор работает на физическом факультете университета штата Арканзас в г. Файетвилль, AR 72701.

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ ЖИВУЧЕСТИ ШАХТ

Предполагается, что точки падения боеголовок распределены в соответствии с двумерным гауссовским распределением вероятности со среднеквадратичным отклонением σ , плотность которого определяется выражением:

$$f(r) = \frac{\pi\sigma^2}{2} \exp\left(-\frac{r \cdot r}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

где r - это вектор в горизонтальной плоскости, соединяющий положение шахты и точку падения. Мы предполагаем также, что для каждого типа боеголовки имеется определенный радиус разрушения каждого типа шахты R_d . Интегрируя уравнение (1) по области $r > R_d$, можно получить, что вероятность выживания при одиночном ударе w_{SS} будет равна:

$$SSPS = \exp\left(-\frac{RD^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

Круговое вероятное отклонение (КВО) определяется как радиус области, для которой вероятность поражения цели равна 0,5 (когда $KBO = R_d$, то $w_{SS} = 0,5$). Используя это определение для исключения из вероятности параметра σ , можно получить, что

$$SSPS = 0,5^x; \quad x = \frac{RD^2}{KBO^2} \quad (3)$$

Эмпирическая формула для максимального давления в ударной волне (точнее говоря, превышения атмосферного давления) от наземного взрыва мощностью y (в мегатон-

нах) на расстоянии r (в километрах) от эпицентра имеет следующий вид:³⁻⁵

$$P = \frac{6,31y}{r^3} + 2,20\sqrt{\frac{y}{r^3}} \quad (4)$$

(общее выражение для наземного взрыва), или

$$P \approx \frac{7,04y}{r^3} \quad (5)$$

(справедливо с точностью до 5 процентов для обычных шахт в области давлений от 30 до 250 атмосфер), или

$$P \approx \frac{6,45y}{r^3} \quad (6)$$

(справедливо с точностью до 3 процентов для усиленных шахт в области давлений более 250 атмосфер). Предполагая, что шахты будут разрушаться под действием давления ударной волны, и что разрушение будет происходить при максимальном давлении ударной волны, равным, или большим S ("прочность шахты")⁶, мы получаем, что $P = S$ при $r = R_d$, и из уравнений (4) и (5) следует, что

$$\sqrt{\frac{y}{RD^3}} = \frac{\sqrt{5,21S+1}-1}{5},74 \quad (7)$$

(общее выражение для наземного взрыва)

$$\sqrt{\frac{y}{RD^3}} \approx 0,398\sqrt{S} \quad (8)$$

(для обычных шахт). Из уравнения (8), справедливого для обычных современных шахт, и из уравнения (3) для вероятности поражения шахты следует, что

$$SSPS = 0,5^x; \quad x = \frac{3,42L}{S^{2/3}} \quad (9)$$

где параметр

$$L = \frac{y^{2/3}}{KBO^2} \quad (10)$$

- это "летальность" боеголовки, определяющая эффективность поражения защищенных целей, и измеряемая в (мегатоннах)^{2/3}/км².

Надежность боеголовки R определяется как вероятность того, что она будет успешно доставлена в район цели, и что мощность ее взрыва будет равна расчетной. С учетом надежности боеголовки вероятность выживания цели при одиночном ударе P_{1s} будет равна:

$$P_{1s} = 1 - R(1 - SSPS) \quad (11)$$

При атаке цели двумя боеголовками вероятность выживания будет равна произведению вероятностей выживания при первом и при втором ударе:

$$P_{2s} = P_{1s}^2 \quad (12)$$

причем в вероятность выживания при втором ударе надо ввести поправки на влияние первого взрыва, которые уменьшают как надежность боеголовки (эффект "братоубийства"), так и вероятность выживания шахты.

ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ И РАСЧЕТЫ ДЛЯ МОДЕЛИ ОБМЕНА УДАРАМИ⁷

Очевидно, что численные значения мощностей боеголовок, круговых вероятных отклонений, и т.п., которые могут быть использованы в открытой печати, являются весьма неопределенными. В таблицах 1 и 2 приведены разумные интервалы этих величин для современной ситуации и для будущих сценариев.⁸

Эти данные из таблиц 1 и 2 были использованы для расчета вероятностей выживания советских и американских шахт при одиночных и двойных ударах при помощи уравнений (9) и (12). В столбце "Современные МБР" представлен сценарий, в котором использована существующая (на середину 1990 года) структура сил атакующих и ата-

куемых МБР. В столбцах "МБР середины 90-х г.г." и "БРПЛ середины 90-х г.г." представлены структуры сил по сценарию START/MIRV, соответствующему ограничениям Договора о сокращении стратегических наступательных вооружений.⁷ Были проведены расчеты вероятностей выживания МБР в шахтах и количества оставшихся после одиночного и двойного ударов ракет и боеголовок. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2 (а также на рис. 1 в статье⁷, помещенной в этом выпуске журнала).

ЖИВУЧЕСТЬ ШАХТ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ⁹

Для шахт повышенной прочности (с избыточным давлением разрушения более 250 атмосфер) давление ударной волны на границе кратера радиусом R_c будет равно:

$$P = \frac{6,45y}{R_c^3} \quad (13)$$

По определению, прочность шахты считается очень высокой, когда ее радиус разрушения R_d становится равным радиусу кратера ядерного взрыва R_c , так что уравнение (3) принимает следующий вид:

$$SSPS = 0,5^x; \quad x = \frac{R^2}{KBO^2} = \frac{3,46L}{P_R^{2/3}} \quad (14)$$

где L - параметр летальности ядерной боеголовки для поражения защищенных целей. Отметим, что в этом случае вероятность поражения зависит только от летальности и от избыточного давления ударной волны на границе кратера P_R .

Разумные значения P_R можно определить следующим образом. Несмотря на то, что универсальных выражений для объема кратера от ядерного взрыва не существует, объем внешнего вала кратера приблизительно пропорционален мощности взрыва, причем коэффициент пропорциональности с в выражении $R^3 \approx c y$ не зависит от мощности взрыва, а определяется геологией местности.¹⁰⁻¹¹ Приближенное значение константы c можно определить из радиуса одиночного кратера в геологических условиях, сходных с теми, которые могут быть выбраны для размещения шахт МБР повышенной прочности. Согласно стандартному справочнику¹², в сухих прочных скалах радиус кратера от взрыва мощностью в 0,5 мегатонны радиус кратера R будет равен 97 метрам. Тем не менее, в специально подготовленном скальном грунте или в особых условиях могут образовываться и кратеры меньших разме-

Таблица 1

Живучесть современных американских МБР шахтного базирования
при современных атаках и атаках в середине 90-х г.г.
в предположении структуры сил, основанной на ракетах
с разделяющимися боеголовками (сценарий START/MIRV)

	Современные МБР	МБР 90-х г.г.	БРПЛ 90-х г.г.
	пессимистические/оптимистические		
Исходные данные			
Точность (КВО) СС-18, м	200/250	90/125	
Мощность СС-18, Мт	0,5	0,5	
Точность БРПЛ, м			120/300
Мощность БРПЛ, Мт			0,5 ¹
Прочность шахт МХ, атм	130/200	130/200	130/200
Надежность, %	90/80	90/80	90/80
Вероятность взаимоуничтожения ² , %	0/5	0/5	0/5
Количество атакуемых шахт	1000	550	550
Количество атакуемых боеголовок	2450	2000	2000
Результаты расчетов			
Доля уцелевших шахт при одной волне атаки, %	31/60	10/25	12/75
Доля уцелевших шахт при двух волнах атаки ³ , %	9/37	1/7	2/50
Количество боеголовок, переживших одну волну атаки	760/1470	200/500	240/1500
Количество боеголовок, переживших две волны атаки	220/906	20/140	40/1000

¹ Предполагается, что советские боеголовки БРПЛ аналогичны боеголовкам американских ракет "Трайидент II" с мощностью 0,475 Мт.

² Вероятность того, что вторая атакующая боеголовка будет уничтожена взрывом первой.

³ Атака из двух волн означает выделение двух боеголовок на одну шахту.

Таблица 2

Живучесть современных советских МБР шахтного базирования
при современных атаках и атаках в середине 90-х г.г.
в предположении структуры сил, основанной на ракетах
с разделяющимися боеголовками (сценарий START/MIRV)

	Современные МБР	МБР 90-х г.г.	БРПЛ 90-х г.г.
	пессимистические/оптимистические		
Исходные данные			
Точность (КВО) МХ, м	90/110	90/110	120/160 0,475
Мощность МХ, Мт	0,3	0,3	
Точность (КВО) Минитмен IIIA, м	220	220	
Мощность Минитмен IIIA, Мт	0,335	0,335	
Точность "Трайидент II", м			
Мощность "Трайидент II", Мт			
Прочность шахт СС-17/18/19/24, атм	200/470	200/470	200/470
Прочность шахт СС-11/13, атм	70/200		
Надежность, %	90/80	90/80	90/80
Вероятность взаимоуничтожения ² , %	0/5	0/5	0/5
Количество атакуемых шахт	1133	459	459
Количество атакуемых боеголовок	6060	3530	3530
Результаты расчетов			
Доля уцелевших шахт при одной волне атаки, %	36/58	11/37	15/51
Доля уцелевших шахт при двух волнах атаки ³ , %	21/50	5/25	2/28
Количество боеголовок, переживших одну волну атаки	1398/2900	384/1250	510/1800
Количество боеголовок, переживших две волны атаки	978/2617	186/840	70/984

¹ В настоящее время в США нет достаточного числа боеголовок высокой летальности для поражения всех 1133 советских шахт в атаке из двух волн. Поэтому при расчетах предполагалось, что 1400 боеголовок высокой летальности распределялись следующим образом: 500 боеголовок ракет МХ для одной волны атаки 308 шахт СС-18, 40 шахт СС-24, и 152 шахт СС-19; 534 боеголовки ракет Минитмен IIIA для двух волн атаки 168 шахт ракет СС-19, 65 шахт ракет СС-17, и 34 шахт СС-11/13; 366 боеголовок ракет Минитмен IIIA - для одной волны атаки 366 шахт СС-11/13.

² Атака 459 шахт в середине 90-х г.г. будет производиться 459 боеголовками ракет МХ в первой волне и 41 боеголовкой ракет МХ и 418 боеголовками ракет Минитмен IIIA во второй волне.

³ Атака 459 шахт в середине 90-х г.г. при помощи БРПЛ потребует 918 боеголовок высокой летальности (например, Марк 5 с мощностью 0,475 Мт), которые могут быть размещены на 115 ракетах Трайидент II, или на 5 подводных лодках "Трайидент".

⁴ Эти данные относятся только к МБР шахтного базирования, а не к мобильным ракетам.

ров (см. статью Дж. Миченера в этом выпуске журнала¹³). Представитель Военного ядерного агентства США заявлял, что радиус кратера от ядерного взрыва мощностью в 0,5 мегатонны может лежать в пределах от 60 до 90 метров¹⁴; утверждалось также, что в типичных для размещения шахт повышенной прочности геологических условиях радиус кратера от ядерного взрыва мощностью в 0,5 мегатонны будет равен 75 метрам.¹⁵ Полагая, что радиус кратера при взрыве мощностью в 0,5 мегатонны R будет равен 70 - 80 метрам, и используя это значение для расчета с и P_R , можно получить, что давление в ударной волне на границе кратера будет равно $7\,800 \pm 1\,500$ атмосфер. Техническая возможность создания шахты, способной выдержать такое давление, рассматривается в помещенной в этом выпуске статье Дж. Миченера¹³.

Таким образом, для среднего значения давления ударной волны на границе кратера $P_R = 7\,800$ атмосфер мы имеем:

$$SSPS = 0,5^x; x = 0,00895L = \frac{L}{112} \quad (15)$$

Зависимость вероятности выживания шахты от кругового вероятного отклонения боеголовки для различных мощностей ядерного взрыва показана на рис. 4 приведенной в этом выпуске журнала статьи автора.⁷

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Более подробное обсуждение можно найти в работе Barbara G. Levi, Mark Sakitt, Art Hobson, eds., "The Future of Land-Based Strategic Missiles, New York, American Institute of Physics, 1989, pp. 123 - 128.
2. Обсуждение справедливости приближений стандартной модели можно найти в работе Walter C. Beckham, "Physical Vulnerability Calculations for Nuclear Weapons Using DIA Green Book Methods", Livermore, California, Lawrence Livermore Laboratory, 1975.
3. Kosta Tsipis, "Arsenal", New York, Simon and Schuster, 1983, p. 271.
4. Kosta Tsipis, "Nuclear Explosion Effects on Missile Silos", Cambridge, Massachusetts, MIT Center for International Studies, 1978, p. 20.
5. Air Force Manual for Design and Analysis of Hardened Structures, New Mexico, Kirtland Air Force Base, 1974.
6. Конечно, концепция зависимости живучести шахты от одного параметра S является сильно упрощенной. Ударная волна ядерного взрыва - это динамический процесс, и отклик конструкции шахты на действие ударной волны также будет динамическим. Зависимость избыточного давления от времени, и, в особенности, длительность действия максимального давления, очень важны, так же, как и динамическая упругость конструкции шахты, и хрупкость ее материала при коротких ударах. Эта проблема обсуждается в приведенной в этом выпуске статье Дж. Миченера, и в работе У. Бекхэма (см. ссылку 2).
7. Арт Хобсон, "Проблема базирования межконтинентальных баллистических ракет (МБР)", Наука и всеобщая безопасность, том 2, выпуск 3, стр. 30 (этот выпуск).
8. Эти сведения основаны на данных работы Barbara G. Levi, Mark Sakitt, Art Hobson, eds., "The Future of Land-Based Strategic Missiles, New York, American Institute of Physics, 1989, pp. 128 - 135.
9. Barbara G. Levi, Mark Sakitt, Art Hobson, eds., "The Future of Land-Based Strategic Missiles, New York, American Institute of Physics, 1989, pp. 267 - 273.
10. При конкретной геологии местности не имеет смысла строить шахту с прочностью, большей, чем прочность окружающего материала, поскольку соответствующий уровень избыточного давления будет достигаться только внутри кратера, где даже оставшаяся целой шахта будет выведена из строя по другим причинам (засыпана обломками и т.п.). Бывший министр обороны США Харольд Браун (который до этого работал физиком в Ливерморской национальной лаборатории) заявил, что "Вы не можете защитить убежище таким образом, чтобы оно уцелело в кратере ядерного взрыва" (цитируется в Steve Smith, "MX and the Vulnerability of American Missiles", ADIU Report, May/June 1982, p.3).
11. Kosta Tsipis, "The Operational Characteristics of Ballistic Missiles", in SIPRI Yearbook 1984, London, Taylor & Francis, 1984, p. 384.
12. Samuel Glasstone, Philip J. Dolan, "The Effects of Nuclear Weapons", Washington, DC, US Department of Defense, 1977 (глава 6). Радиус R, равный 97 метрам, был определен при помощи прилагаемого в этой книге "Пособия для расчета эффектов ядерного оружия".
13. Джон Миченер, "Конструкция и техническая реализуемость шахт повышенной прочности", Наука и всеобщая безопасность, том 2, выпуск 3, стр. 68 (этот выпуск).

14. Сообщение Джорджа Ульриха из отделения ударов и стратегических конструкций Военного ядерного агентства, цитированного в Jonathan E. Medalia, Congressional Research Service Report: Small Single Warhead ICBMs, Washington, DC, Library of Congress, 1983.
15. Сообщение помощника министра ВВС США Томаса Э. Купера, цитированное в

заметке "SS-18 Not Capable of 250-foot CEP", Defense Daily, 22 May 1985, p. 121. В этом сообщении говорится, что "Советский Союз способен разрушить любую из существующих или разрабатываемых в США шахт, если он сможет сделать так, чтобы эта шахта попала в кратер от взрыва ядерной боеголовки МБР СС-18 с диаметром в 150 метров".

РАСЧЕТ ЖИВУЧЕСТИ МОБИЛЬНЫХ РАКЕТ

Арт Хобсон

В этой заметке рассматриваются методы атаки мобильных ракет наземного базирования и оценки их живучести при различных вариантах их атаки.

Автор работает на физическом факультете университета штата Арканзас в г. Файетвиль, AR 72701.

КОЛИЧЕСТВО БОЕГОЛОВОК ДЛЯ БАРРАЖА ПРОТЯЖЕННЫХ РАЙОНОВ

На рис. 1 показано возможное расположение точек прицеливания при барраже протяженных районов (или "бомбардировке по площадям"), которое можно назвать "плотной гексагональной упаковкой". Радиусы кругов с центрами в точках прицеливания равны радиусу разрушения пусковой уста-

новки ударной волной R_d . Заштрихованные пробелы между зонами поражения в принятом приближении безопасны, но расположенные в них пусковые установки, которые будут поражаться тремя ударными волнами несколько меньшей мощности (70 - 80 процентов от пороговой)¹, во многих случаях будут серьезно повреждены. Относительная степень покрытия S протяженного района зонами поражения будет равна 91 проценту,

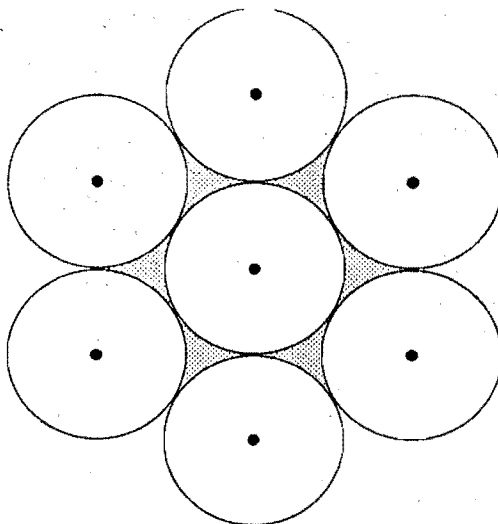


Рисунок 1

Образец плотно упакованного гексагонального расположения точек прицеливания при барраже, используемый в этой статье для оценки живучести мобильных ракет наземного базирования. Заштрихованные области соответствуют так называемым теоретическим областям выживания, хотя расположенные в них транспортеры, скорее всего, будут уничтожены воздействием трех ударных волн с околупороговым избыточным давлением. В показанном примере пренебрегается ненадежностью и неточностью боеголовок.

а число боеголовок N/A , необходимое для барража в одиночном ударе, в расчете на один квадратный километр, будет равно:

$$\frac{N}{A} = \frac{0,289}{RD^2} \quad (1)$$

(для плотной гексагональной упаковки).

Другие варианты расположения точек прицеливания с меньшим количеством боеголовок обеспечат меньшую степень покрытия, и поэтому вероятность их использования будет мала. Полное покрытие площади барража зонами поражения приведет к их перекрытию и потребует на 33 процента большего числа боеголовок, причем количество выживающих пусковых установок увеличится всего на несколько процентов. Поэтому в дальнейших расчетах мы будем предполагать, что атакующая сторона будет использовать плотную гексагональную упаковку точек прицеливания.

ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫЖИВАНИЯ ЦЕЛЕЙ

Эффективность барража может уменьшиться как из-за ненадежности боеголовок, так и из-за их неточности. Рассмотрим сначала влияние первого фактора. При полной надежности ($R = 1$) и общей площади протяженной цели A суммарная площадь зон поражения будет равна $0,91A$. При меньшей надежности ($R < 1$) площадь зон поражения уменьшится и станет равной $0,91RA$, так что относительная степень покрытия будет равна $C = 0,91R$ (влияние ненадежности без учета неточности, в предположении равного нуля кругового вероятного отклонения КВО).

Рассмотрим теперь влияние неточности доставки боеголовок (в приближении абсолютной надежности, $R = 1$). Из-за неточности доставки положение центров зон поражения будет смещаться случайным образом, и площадь промежутков между зонами поражения увеличится. Мы определим параметр "относительной неточности" как $\mu = KBO/R_d$. В реальном случае значение этого параметра должно быть небольшим ($\mu \ll 1$), поскольку большие неточности приведут к появлению больших непораженных промежутков. В табл. 1 приведены значения параметров μ и N/A (см. уравнение (1)) для девяти различных вариантов атаки. Отметим, что во всех случаях, кроме одного, значение параметра μ меньше 0,13.

Оценим потери в степени покрытия зонами поражения, связанные с неточностью доставки боеголовок. Сместим один круг зоны поражения (центральный круг на рис.

1) вниз на расстояние $d = KBO$. Потеря в поражаемой площади будет равна площади трех участков пересечения смещенного круга с тремя нижними. Простые геометрические расчеты показывают, что в низшем порядке по малому параметру μ эта площадь равна:

$$\Delta A = RD^2\mu^{3/2} + 2\sin(30)^{3/2}RD^2\mu^{3/2} \quad (2)$$

где первое слагаемое равно площади пересечения со средним нижним кругом, а второе - сумме площадей пересечения с левым и правым нижними кругами. Поскольку смещаются все зоны поражения (а не только одна центральная), мы применим следующую методику оценки. Выберем центр центральной зоны как начало координат и будем перемещать шесть окружающих его зон. Для простоты предположим, что перемещение происходит только по радиусу, и возьмем "средний" случай, когда три круга смещаются на расстояние $d = KBO$ внутрь, а три других круга - на то же самое расстояние наружу. Мы получим величину, в 3 раза превышающую полученную в выражении (3). Таким будет перекрытие площадей в типичном шестиугольнике, образованном исходными положениями центров шести внешних зон.² Разделим эту величину на площадь шестиугольника $6\sqrt{3}D^2$, и вычитая эту величину из исходного значения $C = 0,91$, мы получим:

$$C = 0,91 - 0,49\mu^{3/2} \quad (3)$$

(влияние неточности при полной надежности, при $R = 1$).

Комбинируя полученные результаты, мы будем иметь:

$$C = R(0,91 - 0,49\mu^{3/2}) \quad (4)$$

(при $R < 1$ относительное перекрытие $0,49\mu^{3/2}$ надо заменить на $0,49R_d^{3/2}$, поскольку присутствует только доля зон R).

Результаты расчетов по формуле (4) представлены в табл. 2. Следует отметить, что эти приближенные расчеты проверялись методом машинного моделирования по методу Монте-Карло и его результаты совпали с приведенными в табл. 2 значениями с точностью до ошибок округления.³ Даже для таких больших значений, как $\mu = 0,25$, влияние неточности доставки боеголовок не превышает 6 процентов (это же относится ко всем вариантам, перечисленным в табл. 1). При надежности, равной 80 процентам, теоретическая степень поражения составит от 68 до 73 процентов, или приблизительно 70 процентов (т.е. 30 процентов носителей окажу-

Таблица 1

Необходимое для барражирования число боеголовок
(в расчете на один квадратный километр) и относительная неточность ($\mu = \text{КВО}/\text{RD}$)
для нескольких вариантов атаки

	Мощность, мегатонн	КВО ¹ , км	RD ² , км	N/A ³ , БГ/км ²	μ
Атака ракет Миджетмен:					
СС-18	0,5	0,11	1,6	0,113	0,07
БРПЛ-А ⁴	0,1	0,21	0,94	0,327	0,22
БРПЛ-Б ⁴	0,5	0,21	1,6	0,113	0,13
Атака ракет СС-25:					
МХ	0,3	0,10	6,0	0,0080	0,02
Минитмен III	0,335	0,22	6,2	0,0075	0,04
Трайидент I	0,1	0,40	4,2	0,0160	0,10
Трайидент IIА ⁵	0,1	0,14	4,2	0,0160	0,03
Трайидент IIБ ⁵	0,475	0,14	7,0	0,0059	0,02
0,5 Мт ⁶	0,5		7,1	0,0057	

¹ Данные по точности и мощности боеголовок обсуждаются в предыдущей статье (табл. 1 и 2).

² Радиус поражения рассчитывался в предположении, что прочность транспортера ракеты Миджетмен равна 2 атм, а ракеты СС-25 - 0,25 атм, и что высота воздушного взрыва была оптимальной в соответствии с данными из книги Samuel Glasstone, Philip J. Dolan, "The Effects of Nuclear Weapons", Washington, DC, US Department of Defense, 1977.

³ В соответствии с формулой (1).

⁴ Предполагалось, что характеристики двух вариантов советских БРПЛ аналогичны двум вариантам ракет Трайидент II, описанных в следующем примечании.

⁵ Ракета Трайидент II будет использоваться в двух вариантах (в примерно равном количестве). На первом будет размещаться 8 боеголовок мощностью 0,1 Мт, а на втором - 8 боеголовок мощностью 0,5 Мт, см. Edward Kolcum, "Successful Launches Verify Design Fixes to Trident 2 D5 ICBM", Aviation Week & Space Technology, 8 January 1990, pp. 50 - 51.

⁶ Гипотетический вариант с мощностью 0,5 Мт добавлен для согласования с данными рис. 3 (значения μ и КВО в этом случае не нужны).

Таблица 2

Теоретические значения доли уничтоженных мобильных ракет при плотно упакованном гексагональном расположении точек прицеливания в зависимости от надежности боеголовок R и относительной неточности $\mu = KBO/RD$ (согласно уравнению 4).

R	μ					
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
1,00	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85
0,90	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,76
0,80	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68
0,70	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,59

Как отмечалось в тексте, реальное число уничтоженных боеголовок будет больше теоретического.

тся вне расчетных зон поражения). Предполагая, что около половины этих носителей на самом деле будут уничтожены (см. выше), мы можем считать, что доля уцелевших носителей составит около 15 процентов.

Если будет использоваться более плотная (с перекрывающимися зонами поражения) гексагональная упаковка со стопроцентным покрытием в идеальной ситуации (при $R = 1$ и $\mu = 0$), то при надежности в 80 процентов теоретическая степень поражения составит от 74 до 80 процентов (сокращение за счет неточности будет лежать в пределах от 0 до 6 процентов). Доля уцелевших носителей составит от 10 до 13 процентов, что ненамного меньше полученной для простой плотной гексагональной упаковки (15 процентов).

КОЛИЧЕСТВО БОЕГОЛОВЕК ДЛЯ БАРАЖА РАЙОНОВ БАЗИРОВАНИЯ МБР "МИДЖЕТМЕН" И СС-25

Этот раздел поясняет результаты расчетов поражения мобильных МБР, предста-

вленные на рис. 3 предыдущей статьи того же автора.⁴

Ракеты "Миджетмен" на базах. После оповещения и короткой задержки длительностью t площадь разворачивания, в которой могут находиться мобильные носители, будет состоять из 250 кругов с радиусом vt (где v - скорость перемещения носителя, равная 45 км/час, или 0,75 км/мин), с центрами, расположенными в пунктах их базирования (т.е., вблизи шахт с ракетами "Минитмен"). Общая площадь этих кругов будет равна $250\pi v^2 t^2$ (если направление движения каждого носителя можно будет считать случайным⁵), а необходимое для их уничтожения количество боеголовок будет равно $N = 0,113 \cdot 250\pi v^2 t^2$ (см. табл. 1). Однако, это выражение будет справедливо только после того, как величина N станет больше 250 (т.е., через 2,2 минуты), поскольку для поражения 250 отдельных целей в любом случае надо будет выделить не менее 250 боеголовок. Кроме того, справедливость этого выражения будет нарушена тогда, когда круги возможного расположения отдельных мо-

Таблица 3

Американские базы межконтинентальных баллистических ракет и развернутые на них ракеты.

На каждой из шести баз могут быть развернуты гарнизоны мобильных ракет "Миджетмен".

Название и расположение баз	Минитмен		MX
	II	III	
Элссуорт, Южная Дакота	150	-	-
Ф.Э. Уоррен, Вайоминг	-	150	50
Гранд Форкс, Северная Дакота	-	150	-
Мальмстром, Монтана	150	50	-
Минот, Северная Дакота	-	150	-
Уайтмэн, Миссури	150	-	-

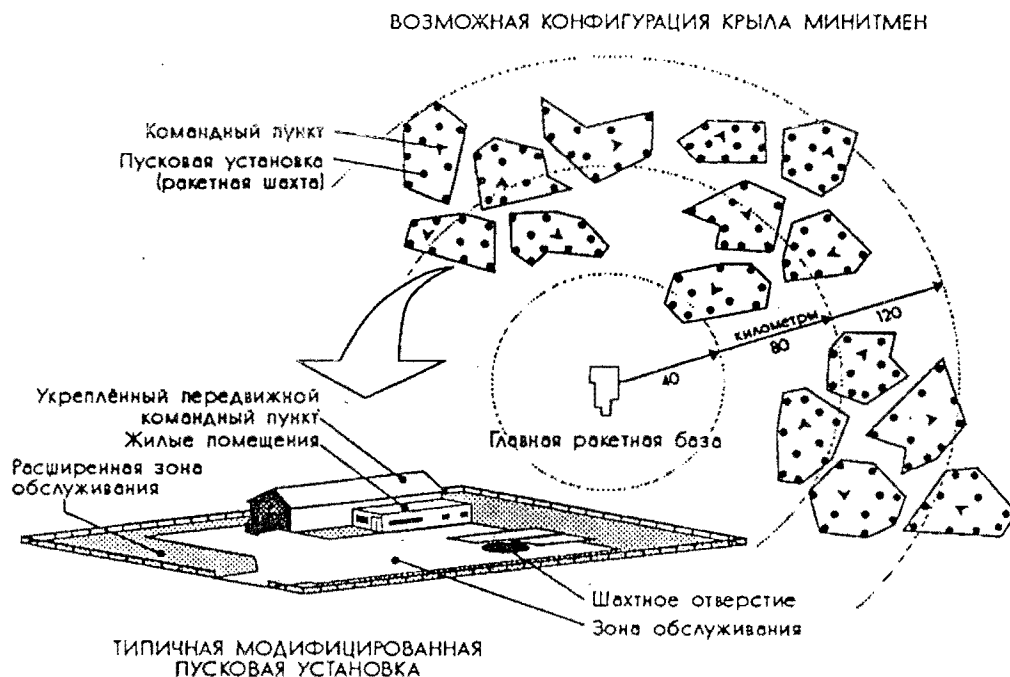


Рисунок 2

Схема базирования ракет "Миджетмен" в гарнизонах у шахт ракет "Минитмен".

На этом рисунке показаны три типичные эскадрильи ракет "Минитмен" по 50 ракет (шахт) в каждой; в каждой эскадрилье - пять "звеньев" по 10 ракет с общим центром управления. Все эскадрильи находятся в одном из шести позиционных районов, перечисленных в табл. 3. Пять центров управления эскадрильи связаны между собой, так что для запуска любой ракеты необходима команда по крайней мере из двух центров управления (рисунок ВВС США).

бильных носителей начнут перекрываться. Этот момент зависит от относительного расположения районов базирования.

Предполагается, что 500 мобильных ракет "Миджетмен" будут размещаться в нескольких (от трех до шести) районах базирования стационарных американских МБР (см. табл. 3). Расстояние между шахтами МБР "Минитмен" в среднем составляет около 8 километров, как показано на рис. 2.⁶ На каждой из шести перечисленных в табл. 3 баз МБР "Минитмен" находится от трех до четырех эскадрилий по пятьдесят шахт в каждой. Кроме того, в эскадрилье ракет "Минитмен" имеется пять связанных между собой и поддерживающих друг друга центров управления пусками, объединяющих эскадрилью в единое целое. Поэтому естественно предположить, что мобильные МБР "Миджетмен" будут развернуты в комплексах по сто носителей в каждом, размещенных попарно на каждой из пятидесяти шахт эскадрильи МБР "Минитмен", что позволяет

эффективно использовать как центры управления пусками, так и другое вспомогательное оборудование (детальную информацию о развертывании американских МБР можно найти в работах⁷⁻¹⁰). Для максимального рассредоточения пять комплексов (общей численностью в 500 мобильных носителей) должны быть развернуты на отдельных базах МБР "Минитмен".

Убежища для мобильных ракет "Миджетмен" находятся на расстоянии около восьми километров друг от друга, и поэтому пятьдесят кругов возможного расположения транспортеров из комплекса в 100 ракет начнут пересекаться примерно через 5,3 минуты. Все круги сомкнутся в один примерно через 7,5 минуты (в упрощенном предположении расположения убежищ в прямоугольной решетке). Мы предполагаем, что атакующая сторона, которая будет ожидать, что мобильные носители будут перемещаться дольше, чем 5,3 минуты, будет организовывать барраж района расположения всех

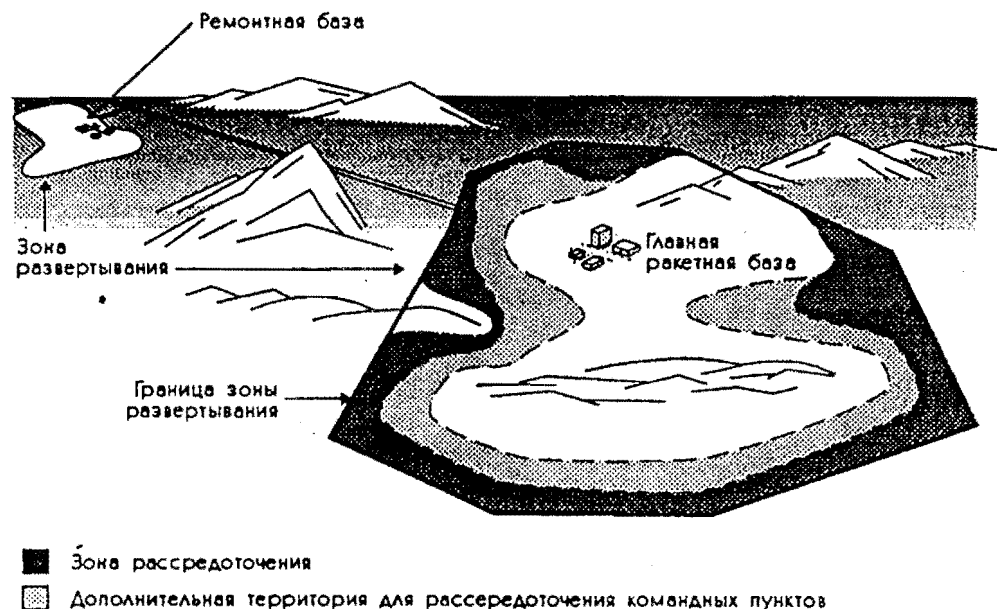


Рисунок 3
Схема "случайного" базирования ракет "Миджетмен"

пятидесяти шахт, и не будет пытаться компенсировать небольшие пробелы между расширяющимися и перекрывающимися зонами возможного положения транспортеров в интервале времени от 5,3 до 7,5 минут. Предполагая для простоты, что комплексы базирования ракет "Миджетмен" в мирное время расположены в круговой зоне (ее усредненный диаметр будет составлять 31,9 километра; см. рис. 2), зависимость площади зоны

возможного расположения транспортеров от времени движения t будет определяться выражением $\pi[31,9 + v(t - 5,3)]^2$. Для окончательных расчетов эта площадь была умножена на количество комплексов (пять), а необходимое количество боеголовок было определено умножением на коэффициент 0,113 (см. табл. 1).

Патрулирование мобильных МБР "Миджетмен". На шести базах, перечисленных в

Таблица 4
Шесть возможных позиционных районов для "случайного" базирования мобильных ракет "Миджетмен" и площади районов патрулирования в мирное время.

Позиционный район	Площадь, км ²
Полигоны ВВС США Льюк и Юма, Аризона	4600
Авиабаза Эглин, Флорида	800
Полигон ВВС США Неллис и полигон Министерства энергетики, Невада	4600
Авиабаза Холломэн и полигон Уайт-Сэндо, Нью-Мексико	4700
Полигон Чайна-Лэйк ВМС США и авиабаза Эдвардс, Калифорния	2400
Хэнфордский комплекс Министерства энергетики и тренировочный центр ВВС США Якима, Вашингтон	1000

табл. 4, в мирное время для патрулирования транспортеров МБР "Миджетмен" может быть выделено около 10 тысяч квадратных километров.¹¹ На базах в штатах Вашингтон и Флорида может быть размещено не более, чем по 50 носителей на каждой, а на каждой из оставшихся баз - до 200 носителей. Для модельных расчетов мы предположим, что будет создано четыре комплекса по 125 носителей в каждом с выделяемой для патрулирования площадью в 2500 квадратных километров.

Возможная схема комплекса показана на рис. 3.^{12,13} Зона патрулирования мирного времени располагается по периметру комплекса, а дополнительная зона боевой тревоги, площадь которой примерно равна площади зоны патрулирования мирного времени, располагается во внутренней части комплекса. При получении предупреждения о возможной атаке транспортеры могут начать движение как в зону боевой тревоги внутри базы, так и наружу, на территорию, не принадлежащую базе. Мы будем моделировать эту ситуацию, предполагая, что для каждого комплекса зона патрулирования в мирное время представляет собой кольцо площадью в 2500 квадратных километров с внешним радиусом в 40 километров и с внутренним радиусом 28 километров, окружающее круг площадью в 2500 квадратных километров. При этих предположениях зависимость площади возможного расположения носителей от времени движения транспортеров t будет определяться выражением $\pi(40 + vt)^2 - \pi(28 - vt)^2 = 2500 + 136\pi vt$ (квадратичный член в обеих выражениях сокращается). Через время $t = 28/v = 37$ минут внутренняя область будет заполнена и после этого площадь возможного расположения транспортеров будет определяться выражением $\pi(40 + vt)^2$ (в нашей модели, однако, анализ заканчивается на времени t , равном 25 минутам). Так же, как и в предыдущем случае, для окончательных расчетов эта площадь была умножена на количество комплексов (четыре), а необходимое количество боеголовок было определено умножением на коэффициент 0,113 (см. табл. 1).

Ракеты СС-25. При анализе развертывания мобильных ракет СС-25 на базах мы предполагаем, что на каждой базе находится отряд из 9 транспортеров с ракетами СС-25, и что общее количество баз равно $500/9 = 56$; кроме того, базы находятся на расстоянии 90 километров друг от друга.¹⁴ В этом случае площадь возможного расположения транспортеров зависит от времени движения t согласно выражению $56\pi v^2 t^2$. Это выражение будет справедливо до тех пор, пока отдельные круговые зоны не начнут слива-

ться (это произойдет примерно через 60 минут). Необходимое количество боеголовок определяется умножением суммарной площади на коэффициент 0,0057 (см. табл. 1).

В режиме патрулирования мы должны представить себе систему, для уничтожения которой, так же как и для уничтожения системы патрулирующих в зоне мирного времени мобильных МБР "Миджетмен", требуется 1 100 боеголовок. Используя данные из табл. 1, мы получаем, что суммарная площадь района патрулирования должна быть равна $1100/0,0057 = 190\,000$ квадратных километров (что примерно равно площади штата Небраска). Так же, как и в случае МБР "Миджетмен", мы предположим, что ракеты развернуты на четырех базах. Радиус одного района патрулирования будет равен в этом случае 124 километрам (скорее всего, он не будет периметром базы из-за слишком больших размеров). В этом случае площадь одного района возможного расположения транспортеров будет зависеть от времени движения t согласно выражению $\pi(124 + vt)^2$. Для окончательных расчетов эта площадь должна быть умножена на количество комплексов (четыре), а необходимое количество боеголовок было определено умножением на коэффициент 0,0057 (см. табл. 1).

СЛАБОЕ ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА БОЕГОЛОВОК НА АТАКУЮЩИХ РАКЕТАХ

В этом разделе будет показано, что эффективность барража протяженных зон слабо зависит от того, сколько боеголовок (одна, несколько или много) будет установлено на ракетах, используемых атакующей стороной.

Это следует из эмпирического факта, что эквивалентный мегатоннаж ракеты, на которой устанавливается f боеголовок с мощностью y (равный $fy^{2/3}$); эта величина примерно постоянна¹⁵ (точнее говоря, она возрастает примерно на 25 процентов при увеличении числа боеголовок с 1 до 3 и затем уменьшается на те же 25 процентов при дальнейшем увеличении числа боеголовок с 3 до 10)¹⁶. Величина $fy^{2/3}$ пропорциональна площади $f\pi RD^2$, на которой эти боеголовки могут обеспечить заданный уровень поражения защищенных целей (именно поэтому она называется эквивалентным мегатоннажем). Указанная эмпирическая закономерность независимости эквивалентного мегатоннажа от числа боеголовок на одной ракете-носителе и является обоснованием утверждения о слабой зависимости эффективности барража районов расположения мобильных МБР

от числа боеголовок на атакующих ракетах.

Для проверки этого правила мы рассмотрим три примера: советские ракеты СС-17, СС-18 и СС-19. Каждая из этих ракет может быть оснащена как одиночной боеголовкой, так и несколькими боеголовками. В табл. 5 приведены данные об этих моделях, показывающие, что эквивалентный мегатоннаж каждой ракеты слабо зависит от числа расположенных на ней боеголовок. Точнее говоря, следует отметить, что эти данные приблизительно соответствуют отмеченной Брюсом Беннетом¹⁶ закономерности слабого увеличения эквивалентного мегатоннажа при переходе от одной боеголовки к 4 - 6 и последующего его уменьшения при увеличении числа боеголовок до 10.

Неудивительно, что полная мощность всех установленных на ракете боеголовок $f_y = Y/f$ заметно меньше мощности установленной на ней одиночной боеголовки Y , поскольку проверка геометрии отсека размещения боеголовок (см., например^{17,18}) показывает, что несколько боеголовок не могут заполнить все пространство внутри отсека, которое, однако, может быть заполнено одиночной боеголовкой. Более подробный анализ геометрии расположения боеголовок, по-видимому, объясняет причину возникновения закономерности $f_y^{2/3} = \text{const}$. Основания f конических боеголовок радиуса r должны размещаться на одной и той же круглой области, как и одна боеголовка радиуса R , так что $f\pi r^2 \approx \pi R^2$. Отношение объемов боеголовок равно $V/v = R^3/r^3$, и поэтому $f_y^{2/3} \approx Y^{2/3}$. Предполагая, что мощность боеголовки пропорциональна ее объему, получаем, что $f_y^{2/3} \approx Y^{2/3}$.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Центр промежутка между зонами поражения находится на расстоянии $1,15 R_d$ от точки прицеливания, так что согласно формуле (4) из предыдущей статьи

автора, помещенной в этом выпуске ("Расчет живучести ракет шахтного базирования", Наука и всеобщая безопасность, том 2, выпуск 3, стр. 53), избыточное давление ударной волны при наземном взрыве для цели с прочностью в 4 атмосферы ("Миджетмен") в центре промежутка будет составлять 73 процента от порога разрушения, а для цели с прочностью в 0,25 атмосферы (СС-25) - 79 процентов. Соответствующие значения для воздушных взрывов будут примерно такими же.

2. Отметим, что при такой процедуре двойной учет целей исключен.
3. Barbara G. Levi, Mark Sakitt, Art Hobson, eds., "The Future of Land-Based Strategic Missiles, New York, American Institute of Physics, 1989, p. 194.
4. Арт Хобсон, Проблема базирования межконтинентальных баллистических ракет (МБР), "Наука и всеобщая безопасность", том 2, выпуск 3, стр. 30 (этот выпуск).
5. Это предположение о случайном перемещении следует считать наиболее предпочтительным для обороняющейся стороны. На самом деле мобильные носители будут перемещаться по дорогам, соединяющим базы МБР "Минитмен", и только в последний момент транспортеры будут съезжать с дорог на пересеченную местность. Однако, вопрос о том, будет ли нападающая сторона отдавать предпочтение атаке дорог, остается открытым, поскольку такой план атаки может быть нарушен перемещением транспортеров с ракетами на пересеченную местность, и поэтому реальная атака должна будет основываться на предположениях, близких к случайному распределению движения.
6. Информацию о развертывании МБР "Минитмен" и "Миджетмен", на основании которой были подготовлены рисун-

Таблица 5

Сравнение эквивалентного мегатоннажа $Y^{2/3}$ трех ракет с одной боеголовкой и эквивалентного мегатоннажа $f_y^{2/3}$ тех же трех ракет с f разделяющимися боеголовками. В первом приближении эквивалентный мегатоннаж не зависит от числа боеголовок. Приведенные интервалы значений отражают существующие неопределенности. Данные взяты из работы Barton Wright, "Soviet Missiles: Data From 100 Unclassified Sources", Lexington, Massachusetts, Lexington Books, 1986.

Ракета	Y, Мт	y, Мт	f	$Y^{2/3}$	$f_y^{2/3}$
СС-17	3,6-6	0,75	4	2,4-3,3	3,3
СС-18	20	0,5	10	7,4	6,3
СС-19	4,3-5	0,5-0,55	6	2,6-2,9	3,8-4

- ки 2 и 3, можно найти в отчете Air Force Regional Civil Engineer, "Legislative Environmental Impact Statement (EIS): Small Intercontinental Ballistic Missile Program, Norton Air Force Base, California, US Air Force, November 1986.
7. Ссылка 3, стр. 183.
8. Ashton B. Carter, David N. Schwartz, eds. "Ballistic Missile Defense", Washington, DC, The Brookings Institution, 1984, p. 123.
9. Dietrich Schroeer, "Science, Technology and the Nuclear Arms Race", New York, John Wiley & Sons, 1984, p. 154.
10. Barry Miller, "ICBM Get Major Modernization", Aviation Week & Space Technology, 10 May 1976, p. 63.
11. Ссылка 6, стр. 18 - 20, 27, раздел 1.
12. Ссылка 6, стр. 10, раздел 1.
13. R. Jeoffrey Smith, "A Scheme to Attract Missiles and Deter an Attack", Science, 27 June 1986, p. 1592.
14. Это предположение также следует считать наиболее предпочтительным для обороняющейся стороны. На некоторых базах может находиться не один отряд из девяти транспортеров, и расстояние между отдельными базами может быть меньше 90 километров.
15. Ian Bellany, "Nuclear Vulnerability Handbook", Lancaster, UK, Center for the Study of Arms Control, 1981.
16. Bruce Bennett, "Assessing the Capabilities of Strategic Nuclear Forces, Santa Monica, California, Rand Corporation, June 1980, p. 75.
17. Ссылка 9, стр. 150.
18. Thomas B. Cochran et al., "Nuclear Weapons Databook, Volume I: US Nuclear Forces and Capabilities", New York, Ballinger, 1984, p. 75.