

АНАЛИЗ РИСКОВ НЕПРЕДНАМЕРЕННОЙ ЯДЕРНОЙ ВОЙНЫ МЕЖДУ СОЕДИНЕННЫМИ ШТАТАМИ И РОССИЕЙ И ИХ СОКРАЩЕНИЕ

Энтони М. Барретт, Сет Д. Баум и Келли Хостетлер

АННОТАЦИЯ

В данной статье разработана структура математического моделирования с применением деревьев отказов и пуассоновских процессов для анализа рисков непреднамеренной ядерной войны из-за неправильного истолкования США или Россией сигналов ложной тревоги в системах раннего предупреждения, и для оценки потенциальной ценности вариантов для сокращения рисков непреднамеренной ядерной войны. В модели также используется имеющаяся в открытой печати информация о системах раннего предупреждения, близких к ложной тревоге эпизодах, и других факторах для оценки вероятностей российско-американского кризиса, частотах сигналов ложной тревоги, и вероятностей запуска ракет лидерами стран в ответ на сигнал ложной тревоги. В статье обсуждаются результаты, неопределенности, ограничения и политические последствия.

Вспомогательные материалы к этой статье (дополнительные таблицы и рисунки) доступны на веб-сайте журнала.

Авторы статьи работают в Институте глобального катастрофического риска, Сиэтл, штат Вашингтон, США.

Почтовый адрес для корреспонденций: Anthony M. Barrett, Global Catastrophic Risk Institute, P.O. Box 85561, Seattle, WA 98145-1561, USA.

Адрес электронной почты: tony@gcrinstitute.org

Статья получена 30 августа 2012 года и принята к публикации 27 декабря 2012 года.

ВВЕДЕНИЕ

Война, вовлекающая существенные части американских и российских ядерных арсеналов, далеко превосходящих арсеналы любых других стран, может привести к глобальным катастрофическим последствиям, таким, как значительное уменьшение производства продовольствия на протяжении многих лет¹, потенциально ведущее к коллапсу современной цивилизации во всем мире, или даже к вымиранию человечества². Ядерная война между Соединенными Штатами и Россией может произойти по разным причинам, включая случайный или несанкционированный запуск; преднамеренный первый удар одной стороны; и непреднамеренную атаку. В варианте *случайного* или *несанкционированного* запуска или взрыва меры безопасности системы или процедуры обеспечения контроля за ядерным оружием будут нарушены таким способом, что ядерное оружие или ракета будет взорвано или запущено без приказа руководства страны. В варианте *преднамеренного* первого удара атакующая сторона примет решение о нанесении первого удара на основании точной информации о состоянии дел. В варианте *непреднамеренной* атаки атакующая сторона ошибочно полагает, что она была атакована и запустит ядерное оружие, считая, что она контратакует³. (Стратегия балансирования на грани войны содержит в себе все указанные выше элементы, в том смысле, что они включают намеренное манипулирование рисками случайных или непреднамеренных запусков.⁴)

В течение многих лет ядерная стратегия в первую очередь была направлена на минимизацию рисков преднамеренной атаки посредством развития способностей сдерживания; были также предприняты различные меры для уменьшения вероятности аварий, несанкционированных атак и непреднамеренной войны. Для обеспечения сдерживания как американские, так и советские (российские) силы поддерживали значительные возможности того, чтобы некоторая часть сил пережила первую атаку другой стороны и провела последующую контратаку. Тем не менее, опасения экстремального ущерба, нанесенного первым ударом силам и средствам управления и командования, привели к развитию обеими сторонами возможностей обнаружения первого удара и начала контратаки до нанесения повреждений первой атакой⁵.

Многие полагают, что с окончанием холодной войны и улучшением отношений между Соединенными Штатами и Россией риск ядерной войны между Востоком и Западом значительно уменьшился⁶. Однако, отмечается также, что непреднамеренная ядерная война между Соединенными Штатами и Россией все еще продолжает представлять значительный риск⁷. Хотя Соединенные Штаты и Россия активно не угрожают друг другу войной, они остаются готовыми запустить ядерные ракеты в ответ на признаки атаки⁸.

Ложные признаки ядерной атаки могут быть вызваны несколькими причинами. Во-первых, в прошлом разнообразные события уже были ошибочно интерпретированы как указания на атаку, включая погодные явления, неисправности компьютеров, деятельность диких животных, и тренировочные магнитные ленты, загруженные в неправильный момент времени⁹. Во-вторых, группы террористов или другие деятели могут провести атаки на Соединенные Штаты или Россию, имитирующие некоторые виды ядерной атаки другой стороны такими действиями, как взрыв украденной или самодельной ядерной бомбы¹⁰, в особенности, если такое событие произойдет во время кризиса отношений между Соединенными Штатами и Россией¹¹. Возможны разнообразные сценарии ядерного терроризма¹². Аль-Каида искала возможности получить или изготовить ядерное оружие и применить его против Соединенных Штатов¹³. Другие методы могут включать попытки обойти меры безопасности управления запуском ядерного оружия или использовать пробелы в их системах защиты¹⁴.

Давно указывалось, что вероятность непреднамеренной ядерной войны существенно возрастает во время условий кризиса отношений между США и Россией¹⁵, и в качестве главного исторического примера приводится кубинский ракетный кризис. Не исключено, что в будущем американо-российские отношения значительно ухудшатся, увеличив ядерные противоречия. Для третьей стороны существует множество способов увеличения трений между Соединенными Штатами и Россией, которые сделают более вероятной для одной или обеих сторон неправильную интерпретацию событий как атак¹⁶.

Хотя были идентифицированы многие режимы отказов системы сдерживания, дополнительные исследования могут оказаться полезными для идентификации остающихся опасностей, количественной оценки их относительных рисков, и политики информирования¹⁷. Многие аналитики рекомендовали, чтобы был сделан анализ рисков непреднамеренной ядерной войны. Хеллман¹⁸ предложил использовать методы вероятностного анализа риска (ВАР), подобные используемым для оценки рисков на атомных электростанциях. Они позволяют оценить вероятности отказа системы в целом, используя деревья отказов для определения соотношений между инициирующими отказы событиями и условиями, предоставляющими возможности. Эти методы включают также информацию о частоте отказов и взаимодействиях компонентов системы, со статистической оценкой частоты отказов компонентов системы и прочих параметров модели риска с использованием доступных эмпирических данных¹⁹. Полное определение всех имеющих отношение частот отказов и взаимодействий компонентов системы ядерного оружия потребует получения информации, значительно превышающей ту, которая находится в открытом доступе, хотя такие взаимодействия также невозможно будет полностью предсказать из-за сложности соответствующих систем и их взаимосвязей²⁰. Тем не менее, полезные характеристики по крайней мере некоторых потенциальных режимов отказов были представлены в литературе по опасности непреднамеренной ядерной войны, и на основании относительно ограниченного количества такой информации в предыдущих оценках вероятностей конкретной модели непреднамеренной ядерной войны или других военных сценариев было достигнуто важное понимание соответствующих процессов²¹. Данная статья построена на основе этой работы и включает ее результаты.

В этой статье математическое моделирование используется для оценки вероятности непреднамеренной ядерной войны между Соединенными Штатами и Россией в течение года, а также для оценки возможного уменьшения этой вероятности за счет специфических стратегий уменьшения риска. Оценки риска в таких терминах могут оказаться полезными при сравнении вариантов уменьшения риска непреднамеренной ядерной войны. Она также способствует сравнению рисков ядерной войны с другими типами глобальных катастрофических рисков, таких, как астероиды или пандемии, которые часто могут быть охарактеризованы вероятностью появления катастрофического события в течение года, то есть событие с воздействием выше определенного порога, выбранного для различения действительно катастрофического события от событий с меньшими последствиями²².

Оценка вероятности начала ядерной войны в течение года проводилась в некоторых предыдущих работах. Хеллман²³ представил грубую оценку общей вероятности ядерной войны между Соединенными Штатами и Россией в течение года. В данной статье частично используется анализ Хеллмана, например, в отношении вероятности кризиса отношений между США и Россией, хотя в данной статье используются и другие источники и подходы к другим компонентам модели риска, частью для того, чтобы оценить относительные риски различных типов сценариев непреднамеренной ядерной войны, и для того, чтобы оценить потенциальное значение стратегий уменьшения риска. Уоллес и др.²⁴ оценили условную вероятность неразрешенных серьезных сигналов ложной тревоги, возникающих в американских и российских системах раннего предупреждения во время

кризиса при тех условиях, когда руководитель может оказаться под сильным давлением в пользу запуска ракет в ответ на указания на атаку. Однако, Уоллес и др. не оценивали вероятность кризиса, и не оценивали вероятности других сценариев, которые могли представлять указания на атаку.

Данная статья расширяет предыдущие оценки вероятности ядерной войны в двух основных направлениях. Во-первых, она предлагает методы анализа риска с использованием деревьев отказов и математического моделирования для оценки относительных рисков ряда сценариев непреднамеренной ядерной войны, установленных ранее в литературе. Во-вторых, она комбинирует модели риска, основанные на деревьях отказов, с основанными на литературе оценками параметров, характеризующих неопределенности в форме распределений вероятности, с распространением неопределенностей по дереву отказов с использованием методов моделирования Монте-Карло. В статье также проведен анализ чувствительности для идентификации доминирующих рисков при различных предположениях.

ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ И ПОДХОД

Моделируемые системы и сценарии

В анализе рассматриваются характеристики американских и российских ядерных арсеналов, доктрин, систем раннего предупреждения об атаке другой стороны, и систем управления, контроля, связи и внешней разведки (СЗР). Модель в основном базируется на синтезе заявлений, относящихся к американским и российским ядерным арсеналам, доктринам, системам раннего предупреждения и СЗР, которые были подготовлены аналитиками, использовавшими не секретную информацию и интервью для построения своих собственных моделей в 1980-х и 1990-х годах, такими, как Марш и Уоллес и др.²⁵. Предполагается, что допущения модели продолжают оставаться применимыми к Соединенным Штатам и России, что кажется ориентировочно соответствующим описаниям американских и российских сил в течение двух прошедших десятилетий²⁶. Предполагается также, что на уровне представленного здесь анализа советские (российские) системы раннего предупреждения и процедуры отклика могут быть разумно аппроксимированы как функционально эквивалентные их американским аналогам²⁷, несмотря на некоторые известные различия (как лаконично подытожено Мианом и др.²⁸).

Как у Соединенных Штатов, так и у России есть системы, разработанные для предоставления указаний на начавшуюся ракетную атаку, включая спутники для обнаружения горячих газовых факелов от запущенной ракеты, и радиолокаторы для обнаружения летящей ракеты. Как и любые другие датчики, спутниковые и радиолокационные системы уязвимы для ложных положительных сигналов, так что в целом системы раннего обнаружения ищут события, отображающие запуски ракет на нескольких системах детекторов, например, на обеих системах спутников и радиолокаторов в одно и то же время. Если указания на атаку выглядят достаточно убедительными, то связываются с руководителями и докладывают им о ситуации, и они должны будут принять решение о запуске своих собственных ракет в ответ на указания об атаке.

На рисунке 1 показаны основные индикаторы атаки и этапы принятия решений об отклике в американской системе, реализованной в Северно-американском командовании воздушно-космической обороны (NORAD). По первому указанию с одной системы датчиков на возможную атаку созывается Совещание по обнаружению ракеты (Missile Display Conference (MDC)) и операторы системы изучают информацию. Если обнаруживается, что эта информация – это ложное указание на атаку, то дальше ничего не происходит. Если информация подтверждается второй системой датчиков, то созывается Совещание по оценке угрозы (Threat Assessment Conference (TAC)). В зависимости от доступной информации и количества подтверждающих атаку указаний от отдельных систем датчиков, NORAD придает своей оценке угрозы атаки либо высокую, либо низкую степень уверенности. При высокой степени уверенности в оценке NORAD созывает Совещание по ракетной атаке (Missile Attack Conference (MAC)), включающее доклад президенту и министру обороны, которые принимают решение о том, нужно ли запускать в ответ ракеты до момента «используй это, или потеряй это», после которого надвигающаяся ядерная атака может помешать координированной контратаке²⁹. (Такие термины, как события «уровня TAC» и «уровня MAC» относятся к этапам советской (российской) процедуры принятия решений, которые предполагаются примерно аналогичными американским этапам).

Индикаторы атаки могут, или не могут быть разрешены (идентифицированы как ложный сигнал тревоги) до наступления времени принятия решения, то есть времени, доступного для руководителя для принятия решения о запуске ракет в ответ на индикаторы атаки до момента «используй это, или потеряй это»³⁰. Если индикаторы атаки останутся неразрешенными до наступления времени принятия решения, то тогда руководители должны будут решить, стоит ли начинать контратаку несмотря на неопределенность. В зависимости от используемой системы предупреждения и видимого расположения указываемой атаки, времена принятия решения могут лежать в интервале от получаса для межконтинентальной баллистической ракеты (в «оптимистическом»

случае) до практически нулевого промежутка времени между подтвержденным обнаружением запущенной с подводной лодки баллистической ракеты (или эквивалентной атаки, запущенной в окрестности национальной границы), и временем, когда следует отдать приказ о координированной контратаке³¹.

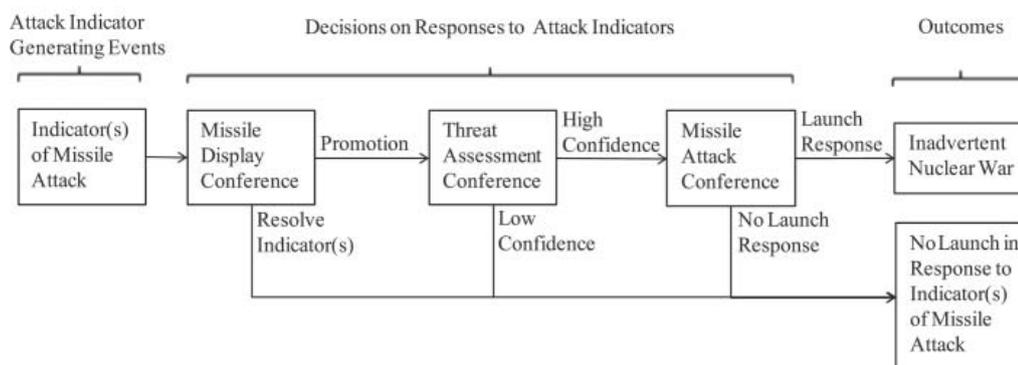


Рисунок 1. Основные этапы отклика на ложные индикаторы ракетной атаки. Надписи на рисунке (слева направо и сверху вниз): 1 – индикатор атаки, генерация событий; 2 – решения по отклику на индикаторы атаки; 3 – результаты; 4 – индикатор (индикаторы) ракетной атаки; 5 – совещание по обнаружению ракеты; 6 – продвижение; 7 – совещание по оценке угрозы; 8 – высокая степень уверенности; 9 – отклик на запуск; 10 – непреднамеренная ядерная война; 11 – разрешение индикатора (индикаторов); 12 – низкая степень уверенности; 13 – нет отклика на запуск; 14 – нет запуска в ответ на индикатор (индикаторы ракетной атаки).

Предполагается, что Соединенные Штаты и Россия используют комбинацию возможностей и позиций ответно-встречного удара (Launch Under Attack (LUA)) и запуска по предупреждению (Launch On Warning (LOW))³², наряду с решениями руководителей о том, действительно начинать атаку в ответ на индикаторы атаки в раннем предупреждении, или, вместо этого, переждать до указаний на начавшуюся атаку противника. Обе позиции, LUA и LOW, построены таким образом, чтобы разрешать запуск ракет в ответ на воспринимаемую атаку после того, как системы раннего предупреждения представят индикаторы атаки, и до того, как воспринимаемая атака сможет повлиять на возможности управления и связи, или нарушить их (ни позиция LUA, ни позиция LOW не предусматривают «пережидания» атаки перед запуском контратаки). Основным различием между позициями LUA и LOW является уровень свидетельства системы раннего предупреждения о предстоящей атаке, требуемом для прохождения порога обнаружения указывающего на атаку сигнала (в этот момент начинается «время принятия решения»), и количество времени, требующегося для получения такого уровня свидетельства. При запуске по предупреждению (LOW) указания на атаку только от одного «семейства датчиков», то есть, либо от спутника, либо от радиолокатора, могут быть достаточным свидетельством для принятия решения о том, давать или не давать приказ на запуск; при ответно-встречном ударе (LUA) требуются указания на атаку от двух отдельных семейств датчиков, т.е. как от спутника, так и от радиолокатора³³. Ответно-встречный удар (LUA) требует больше времени для сбора свидетельств, чем запуск по предупреждению (LOW), то есть LUA предоставляет меньше времени на принятие решения, чем LOW, и поэтому LUA более уязвим к нарушениям из-за атак с коротким временем полета. Однако, LUA более эффективно исключает сигналы ложной тревоги, поскольку он собирает больше данных раннего предупреждения, чем LOW. Здесь предполагается, что Соединенные Штаты и Россия используют менее восприимчивую и менее подверженную к ложно положительным сигналам позицию LUA во время периодов с нормальным или низким уровнем напряженности, и более восприимчивую, но и более уязвимую к ошибкам позицию LOW во время периодов с высоким уровнем напряженности или в кризисной ситуации³⁴. Имеется некоторая неопределенность и дебаты в отношении того, использовали ли Соединенные Штаты и СССР (Россия) позиции LUA/LOW, и используют ли они их сейчас³⁵. Частично эта неопределенность может быть преднамеренной и культивируемой разработчиками военных планов для усложнения усилий противника в планировании своих действий³⁶. Эта неопределенность неявно вводится в модель не только предположением, что обе стороны используют возможности и позиции LUA/LOW, но также и включением в модель параметров, представляющих вероятность того, что руководители прикажут провести контратаку в ответ на индикаторы атаки. Здесь предполагается, что имеется некоторая вероятность того, что руководители могут переждать ожидаемую наступающую атаку и надеяться на возможности второго удара, а не начинать контратаку до момента «используй это, или потеряй это». В данном анализе адаптируется модель времени принятия решения о запуске и длительности события Марш и Уоллеса и др. Делаются предположения о распределении времен принятия решения, основанные на значениях параметра времени принятия решения,

приведенным Уоллесом и др. В тех случаях, когда во время американо-российского кризиса Совещание по ракетной атаке (МАС) созывается из-за неразрешенного Совещания по обнаружению ракеты (МДС), в данной статье предполагается, что ни Соединенные Штаты, ни Россия не будут начинать атаку в ответ на неразрешенное Совещание по обнаружению ракеты (МДС) до истечения времени на принятие решения.

Сетевое приложение содержит дополнительную информацию о моделируемых системах раннего предупреждения, процедурах отклика, и сценариях.

Качественные предположения о моделировании

Синтезируя приведенную выше и в сетевом приложении доступную информацию, можно сделать следующие базовые предположения о комбинациях обстоятельств и сигналов ложной тревоги, предполагаемые для рассмотрения в качестве достаточного доказательства для созыва Совещания по ракетной атаке (МАС). При низком уровне напряженности в отношениях США и России некоторая часть Совещаний по оценке угрозы (ТАС) от типичных ложно положительных событий может считаться достаточно серьезной для того, чтобы созвать Совещание по ракетной атаке (МАС). При высоком уровне напряженности в отношениях США и России некоторая часть Совещаний по оценке угрозы (ТАС) от типичных ложно положительных событий, или одно неразрешенное Совещание по обнаружению ракеты (МДС), может считаться достаточно серьезной для того, чтобы созвать Совещание по ракетной атаке (МАС). Кроме того, вне зависимости от уровня напряженности, в анализе предполагается, что некоторая доля возможных атак ядерных террористов может имитировать индикаторы ядерной атаки другой стороны.

Предшествующее описывает базовый случай, или используемый в данной статье вариант набора предположений под названием «Опасное спокойствие». Для анализа чувствительности в данной статье также рассматривается вариант «Безопасное спокойствие», в котором предполагается, что запуск ракет Соединенными Штатами или Россией в ответ на ошибочные индикаторы атаки в течение периода низкого уровня напряженности в отношениях США и России по существу невозможен, то есть руководство США и России будут доверять индикаторам атаки на системах раннего предупреждения только в период кризиса отношений США и России. Вариант «Безопасное спокойствие» приблизительно согласуется с неявными предположениями Уоллеса и др., Хеллмана и других аналитиков, которые направлены на риск непреднамеренного запуска из-за ложных сигналов тревоги во время кризисов, хотя некоторые аналитики также рассматривают варианты, в которых имеется некоторая вероятность того, что руководители США или России поверят ложным сигналам тревоги об атаке в периоды низкого уровня напряженности в отношениях США и России³⁷. В анализе предполагается, что в базовом варианте «Опасное спокойствие» вероятность запуска американских или советских ракет в ответ на ошибочные индикаторы ядерной атаки за год равна сумме вероятностей таких запусков за год как в периоды низкого уровня напряженности в отношениях США и России, так и в периоды кризисов. В варианте восприимчивости «Безопасное спокойствие» вероятность возникновения непреднамеренной ядерной войны за год просто равна вероятности непреднамеренных запусков за год во время кризисов в отношениях США и России.

Вероятность того, что в любой конкретный момент времени возникнет кризис между США и Россией, трактуется в модели как независимая, или обусловленная внешними причинами переменная. Хотя на некоторые факторы вероятности кризиса в реальном мире могут повлиять решения США и России, такие, как применяемые в кризисной ситуации стратегии эскалации или де-эскалации, в текущей модели к таким факторам не обращаются. Более того, в вероятности кризиса имеются некоторые факторы, которые не зависят от решений США и России, такие, как вероятности конфликтов, влияющих на российские интересы в прибалтийских государствах³⁸.

В данной статье рассматриваются два основных типа событий, которые могут вызвать серьезные ошибочные указания на атаку другой стороны. Первый представляет общую категорию обычных событий сигналов ложной тревоги, определяемую для включения тех типов событий, которые вызывали исторические сигналы ложной тревоги, так, чтобы включить публично доступные эмпирические данные о частотах указаний на сигналы ложной тревоги в американских системах в период между 1977 и 1983 годами³⁹. Вторая категория событий – это атаки ядерных террористов, некоторые из которых могут быть восприняты Соединенными Штатами или Россией как указание на атаку другой стороны. Такие сценарии могут включать преодоление охранных мероприятий другой стороны и запуск одной или более ее ракеты по другой стране⁴⁰, или потенциально иные средства. Оценки вероятности атаки ядерных террористов, представленные экспертами по национальной безопасности, рассматривались Лугаром⁴¹; в целом согласующийся диапазон оценок был получен в математическом моделировании Банна⁴², и в оценках Аллисона⁴³ и Гарвина⁴⁴. Предположительно для определения сходства атаки ядерных террористов с атакой других стран будет использоваться несколько факторов, включая время принятия решения. Эти факторы не будут рассматриваться конкретно, частью из-за недостатка данных

и частью из-за того, чтобы не помогать террористам. Вместо этого с риском неточности для определения оценочных диапазонов связанного параметра в модели будут делаться простые предположения.

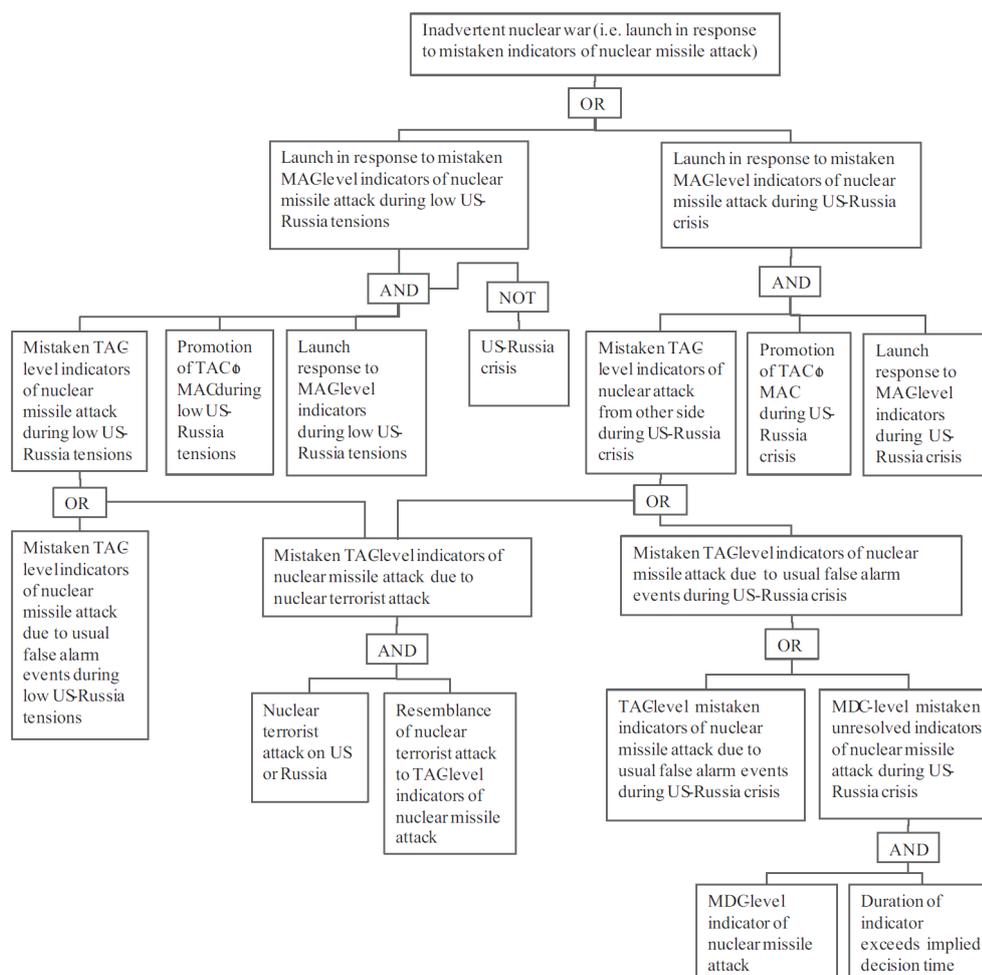


Рисунок 2. Пути и условия простого дерева отказов непреднамеренной ядерной войны. Надписи на рисунке (слева направо и сверху вниз): 1 – непреднамеренная ядерная война (то есть запуск в ответ на ошибочные индикаторы атаки ядерными ракетами); 2 – ИЛИ; 3 – запуск в ответ на ошибочные на уровне MAC индикаторы атаки ядерными ракетами при низком уровне напряженности отношений США и России; 4 – запуск в ответ на ошибочные на уровне MAC индикаторы атаки ядерными ракетами при кризисных отношениях США и России; 5 – И; 6 – НЕ; 7 – И; 8 – ошибочные на уровне TAC индикаторы атаки ядерными ракетами при низком уровне напряженности отношений США и России; 9 – продвижение от уровня TAC до уровня MAC при низком уровне напряженности отношений США и России; 10 – запуск в ответ на индикаторы уровня MAC при низком уровне напряженности отношений США и России; 11 – кризис в отношениях США и России; 12 – ошибочные на уровне TAC индикаторы ядерной атаки другой стороны при кризисных отношениях США и России; 13 – продвижение от уровня TAC до уровня MAC при кризисных отношениях США и России; 14 – запуск в ответ на индикаторы уровня MAC при кризисных отношениях США и России; 15 – ИЛИ; 16 – ИЛИ; 17 – ошибочные на уровне TAC индикаторы атаки ядерными ракетами из-за обычных событий ложно положительных сигналов тревоги при низком уровне напряженности отношений США и России; 18 – ошибочные на уровне TAC индикаторы атаки ядерными ракетами из-за атаки ядерных террористов; 19 – ошибочные на уровне TAC индикаторы атаки ядерными ракетами из-за обычных событий ложно положительных сигналов тревоги при кризисных отношениях США и России; 20 – И; 21 – ИЛИ; 22 – атака ядерных террористов на США или Россию; 23 – сходство атаки ядерных террористов с индикаторами атаки ядерными ракетами на уровне TAC; 24 – ошибочные на уровне TAC индикаторы атаки ядерными ракетами из-за обычных событий ложно положительных сигналов тревоги при кризисных отношениях США и России; 25 – ошибочные неразрешенные на уровне MDC индикаторы атаки ядерными ракетами при кризисных отношениях США и России; 26 – И; 27 – индикатор атаки ядерными ракетами на уровне MDC; 28 – время жизни индикатора превышает предполагаемое время для принятия решения.

Представление сценариев непреднамеренной ядерной войны в виде дерева отказов

На рисунке 2 представлено компактное графическое представление путей развития непреднамеренной ядерной войны. Этот рисунок является простым деревом отказов, построенным для анализа вероятности не-

преднамеренной ядерной войны между Соединенными Штатами и Россией («верхнее событие» по терминологии дерева отказов) как функции вероятностей различных условий и событий (которые располагаются ниже верхнего события дерева отказов). Соотношения между условиями и событиями выражаются в булевских терминах в прописных буквах, включая «И», «ИЛИ», и «НЕТ». Например, непреднамеренный запуск американских ракет в ответ на ошибочные индикаторы ядерной атаки происходит, если событие ложного сигнала тревоги на уровне ТАС происходит в комбинации с двумя специфическими условиями отказа: если сигнал ложной тревоги продвигается на уровень МАС, и если решение о запуске принимается в ответ на ложные индикаторы атаки на уровне МАС. Затем булевская алгебра используется в расчетах частоты событий и вероятности условий отказов, описанных в следующем разделе. Дерево отказов показывает две главных категории ложных сигналов тревоги в этой статье, «обычные» ложные сигналы тревоги и атаки ядерных террористов. Дерево отказов также показывает два уровня напряженности в отношениях США и России, низкую напряженность и кризис.

Математическое моделирование частот событий и вероятностей

Учитывая большие неопределенности в формах и параметрах критической модели, целью анализа является не поиск наилучших значений параметров модели, но поиск заслуживающих доверия диапазонов входных параметров для определения диапазона оценок выходных параметров модели⁴⁵. Были выполнены анализы диагностики, чувствительности и неопределенности для того, чтобы определить, какие неопределенности на входе модели оказывают наибольшее влияние на неопределенность результатов и оценить надежность выводов с учетом ограничений и неопределенности модели.

Следуя примеру нескольких более ранних вероятностных моделей непреднамеренной ядерной войны⁴⁶, предполагалось, что появления ошибочных индикаторов атаки являются независимыми случайными событиями с постоянной частотой появления, которые моделируются в этой статье как пуассоновские процессы⁴⁷. Имеется несколько типов ошибочных индикаторов атаки, каждый из которых возникает с определенной частотой как в объединении пуассоновских процессов. Существует также некоторая вероятность того, что любой конкретный ошибочный индикатор атаки будет частью комбинации других событий, которые инициируют непреднамеренную ядерную войну, как в расщеплении или прореживании пуассоновских процессов. Эти идеи более формально разрабатываются в следующем описании.

Пусть частота появления событий типа A (например, ложного обнаружения атаки другой стороны) будет равна ожидаемому или среднему количеству событий за год x . В пуассоновском процессе вероятность появления события A в период времени t будет определяться кумулятивной функцией распределения $F_A(t)$ с экспоненциальным распределением времени жизни⁴⁸:

$$F_A(t) = 1 - \exp(-xt) \quad (1)$$

Для любого заданного типа события A предположим, что существуют наборы подтипов A_i , любой из которых может рассматриваться как элемент события типа A . Пусть x_i будет частотой появления событий типа A_i . Отметим, что события типов A_i связаны с типами события A в дереве отказов логическими элементами OR (ИЛИ), что означает, что событие типа A произойдет, если произошли события типа A_1 , или типа A_2 , или A_3 , и тому подобное. Эквивалентно, рассмотрим пуассоновский процесс, создающий событие A для представления слияния или агрегации пуассоновских процессов, создающих события A_i таким образом, чтобы частота появления x равнялась сумме частот x_i по i . Как показано в дереве отказов на рисунке 2, модель предполагает, что имеется три типа индикаторов ложных атак (то есть, A_1 обозначает индикаторы атаки уровня Совещания оценки угрозы, A_2 обозначает индикаторы атаки уровня Совещания по обнаружению ракет, которые обычно не трактуются как индикаторы атаки уровня Совещания оценки угрозы, но могут стать таковыми, если они не будут быстро распознаны во время кризиса, и A_3 обозначает атаки ядерных террористов).

Далее предположим, что для конкретного типа событий A_i требуется выполнение условий C_{ij} для того, чтобы конкретное событие типа A_i рассматривалось как возникновение события типа A . Пусть p_{ij} будет вероятностью условий C_{ij} . Например, в модели предполагается, что одним из условий возникновения непреднамеренной ядерной войны будет, помимо ложного указания на атаку, неспособность предотвратить запуск ракет в ответ на ошибочные указания на атаку. Отметим, что условия C_{ij} связаны в дереве отказов с событиями A_i логическими элементами AND (И), что означает, что событие непреднамеренной ядерной войны возникает только тогда, когда имеется ложное указание на атаку, и когда будет произведен запуск ракет в ответ на ошибочные указания на атаку. Эквивалентно, рассмотрим пуассоновский процесс, создающий событие A_i при условиях C_{ij} для представления слияния, дезагрегирования, или прореживания этих пуассоновских процессов таким

образом, чтобы эффективная частота появления событий A_i как событий A равна произведению x_i и p_{ij} . С учетом всего вышесказанного частота появления x равна

$$x = \sum_i x_i \prod_j p_{ij} \quad (2)$$

Например, рассмотрим вероятность $F_{NRA}(t)$ неразрешенного сигнала тревоги на уровне MDC, (NRA), появившегося в течение периода времени t либо в Соединенных Штатах, либо в России. Заявление OR (ИЛИ) указывает, что процессы в двух странах объединяются. x_2 – это частота появления сигналов тревоги уровня MDC в каждой стране. $p[NR]$ – это условная вероятность того, что конкретный ложный сигнал тревоги на уровне MDC, который не был разрешен, приведет к событию сигнала ложной тревоги A_2 . Вероятность такого события за год ($t = 1$) может быть оценена с помощью следующего уравнения:

$$F_{NRA}(t) = 1 - \exp(-2x_2 p[NR]) \quad (3)$$

Предполагается, что времена разрешения сигналов ложной тревоги на уровне MDC экспоненциально распределены со средним временем разрешения y^{49} . Таким образом, для времени принятия решения w вероятность $p[NR]$ того, что конкретный сигнал ложной тревоги на уровне MDC все еще останется неразрешенным (NR) до истечения времени принятия решения, будет равна:

$$p[NR] = \exp(-w/y) \quad (4)$$

Для расчета вероятности в условиях, действующих в течение некоторого промежутка времени, в анализе предполагается, что вероятность условия в любой момент времени является произведением годового числа событий, или вероятности условия, и длительности действия условия, если оно появляется. Например, вероятность того, что в любой момент времени отношения между СССР и США находятся в кризисе, является произведением годовой вероятности кризиса, и продолжительности кризиса, если таковой возникает (где продолжительность измеряется в долях года).

Для вероятности других условий (и для большинства других параметров модели) в этой статье используются следующие процедуры оценки вероятности распределений для неопределенности входных и выходных параметров модели, применяемых в моделировании по методу Монте-Карло. Там, где доступны ограниченные оценки или данные, такие, как из обзоров, или мнений аналитиков⁵⁰, или из небольших эмпирических образцов⁵¹, в используемой здесь модели обычно представлены параметры, использующие одно из следующего: однородные распределения, которые определяют только верхние и нижние пределы значений параметра; треугольные распределения, которые определяют как наиболее вероятное значение, так и верхние и нижние пределы; или вероятностные выборки непосредственно из эмпирически наблюдавшихся исторических данных⁵². Кроме того, для условных вероятностей появления p , для которых не наблюдалось вообще никаких исторических появлений при n случаях, когда они могли появиться, в этой статье используется функция распределения вероятности $f(p)$ из уравнения:

$$f(p) = (n+1)(1-p)^n \quad (5)$$

которое может быть определено как байесовское апостериорное распределение с однородным предшествующим и биномиальной функцией вероятности⁵³. Главным применением уравнения (5) в данной статье является оценка (А) условной вероятности того, что индикаторы атаки уровня (ТАС) будут переведены на уровень (МАС), и (В) условной вероятности решения руководителей произвести запуск в ответ на ошибочные индикаторы нахождения под атакой уровня МАС.

Эти процедуры оценки параметров модели обладают некоторыми преимуществами. Во-первых, они позволяют использовать доступные эмпирические данные для оценки частоты отказов и вероятностей событий, даже тогда, когда данные очень ограничены, и (или) когда неизвестны события отказов. Во-вторых, они позволяют оценить неопределенности параметров модели, по крайней мере в терминах возможных диапазонов значений параметров, которые обычно рекомендуются для моделей количественного риска и моделирования при

высокой степени неопределенности⁵⁴. Данный анализ включает анализы чувствительности и неопределенности и пробный анализ.

Однако, некоторые вероятности или частоты отказов, вероятно, были переоценены (например, параметры, для которых использовались однородные распределения вероятности). Тем не менее, модель общего риска может привести к недооценке общих рисков непреднамеренной ядерной войны из-за большого количества возможных режимов отказа, которые не учитывались в модели. В конечном счете, следует уделять меньше внимания конкретным выходным значениям модели, чем диапазонам и общим тенденциям результатов.

Моделируемые мероприятия по уменьшению риска

Для уменьшения риска непреднамеренной ядерной войны в анализе рассматриваются два мероприятия, которые, как кажется, обладают следующими характеристиками: они потенциально уменьшают риски непреднамеренной ядерной войны; они не привлекали большого внимания или не учитывались в предыдущих публично доступных анализах; и они кажутся (по крайней мере первоначально) относительно неспособными инициировать увеличивающие риски стратегические нестабильности, которые, по мнению критиков, могут возникнуть в результате некоторых «понижающих боеготовность» мероприятий, и даже при полном ядерном разоружении⁵⁵.

Первое мероприятие, предложенное Мошером и др., состоит в том, чтобы либо Соединенные Штаты, либо Россия, либо предпочтительно обе эти страны расположили свои стратегические подводные лодки с баллистическими ракетами (РПКСН, или ракетный подводный крейсер стратегического назначения) достаточно далеко от побережья своего противника для того, чтобы значительно увеличить интервал времени между моментом, в который может быть обнаружен запуск баллистических ракет с подводных лодок (БРПЛ), и моментом подлета их боеголовок к цели. Другими словами, такое перемещение может эффективно увеличить промежуток времени для принятия решения о начале контратаки для указанных атак БРПЛ. Ограниченное время для принятия решения – это важный фактор риска непреднамеренной ядерной войны как для БРПЛ, так и для МБР наземного базирования, но в особенности для БРПЛ с малым временем полета⁵⁶. Имеется некоторый потенциал верификации обмениваемой информацией о расположении РПКСН, для того, чтобы сделать общую реализацию перемещений РПКСН заслуживающей доверия другой стороны, в отличие от некоторых мероприятий по снижению боевой готовности, которые будут ненаблюдаемыми для другой стороны, и, возможно, поэтому не будут заслуживать доверия⁵⁷. Дальность полета как российских, так и американских БРПЛ достаточно велика для того, чтобы запустить их на сравнимые с межконтинентальными баллистическими ракетами расстояния, то есть, из континентальной части Соединенных Штатов до целей в России, или наоборот. В данной статье предполагается, что перемещение РПКСН увеличит интервал времени для принятия решения, и поэтому увеличит вероятность того, что любое конкретное неразрешенное Совещание по обнаружению ракеты (МДС) будет разрешено до того, как такой интервал закончится, но перемещение РПКСН не изменит соответствующие частоты появления сигналов МДС или времени разрешения.

Второе мероприятие, предложенное Подвигом, состоит в том, чтобы понижать уровень готовности в некоторые промежутки времени. В данной статье рассматриваются варианты, в которых одна или обе стороны половину времени будут находиться в пониженной готовности, и половину времени – в нормальной готовности. Предполагается, что, если ложное указание на атаку произойдет в течение периода, когда сторона будет находиться на пониженном уровне готовности, это не приведет к контратаке. В анализе предполагается также, что понижение уровней готовности будет производиться таким образом, чтобы в любой конкретный момент оно не могло быть надежно обнаружено другой стороной, как было предложено Подвигом⁵⁸, который заявил, что «Если силы могут быть тайно введены в боевую готовность и выведены из нее, то атакующая сторона никогда не сможет определить правильный момент для своей атаки. Каждая сторона должна будет предполагать, что силы ее противника будут находиться в полной готовности». Если вывод из готовности можно будет определить более надежно, то тогда для уменьшения риска более подходящими могут быть более расширенные схемы вывода из готовности. Главная причина того, что многие потенциальные мероприятия по выводу из готовности не были реализованы до сих пор, состоит в трудностях верификации состояния готовности и обнаружения повторного ввода готовности во всех соответствующих областях⁵⁹.

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Расчетная модель оценки вероятности непреднамеренной ядерной войны была реализована с помощью программного пакета Analytica компании Lumina Decision Systems⁶⁰. Модули расчетной модели представлены в сетевом приложении к данной статье⁶¹. Полную модель можно получить от авторов по запросу.

Для оценки распределений вероятности выходных параметров в расчетной модели выполняется выборка значений входных параметров в латинском гиперкубе (тип расчетов по методу Монте Карло). Размер выборки в модели равен 10 000 итераций, что представляется достаточно большим для того, чтобы избежать появления избыточной ошибки при выборке⁶². Значения входных параметров модели изменяются в соответствии с распределениями вероятности, приведенными ниже в данном разделе и в Приложении.

Ниже приводятся некоторые из наиболее важных параметров модели и ее логических обоснований. Значения параметров, приведенных в данном разделе, и в Приложении используются во всей статье, если только иное не указано особо (например, в анализе параметрической чувствительности). Предполагается также, что случайные значения параметров не коррелируют, за исключением того, где это отмечено из-за обусловленности.

Предполагаемая вероятность появления кризиса в американо-российских отношениях в течение года задается треугольным распределением (0, 0,02, 0,06). Равный нулю нижний предел соответствует случаю, когда кризисные отношения между США и Россией более невозможны. Наиболее вероятное отношение в 0,02 базируется на наилучшей оценке Хеллмана одного кризиса за пятьдесят лет; это соответствует предположению того, что Кубинский ракетный кризис был единственным в истории кризисом. Значение верхнего предела в 0,06 основано на оценке Хеллмана в три возможных события за пятьдесят лет, что примерно соответствует подсчету нескольких исторических приведений в готовность, перечисленных в Приложении. Величина верхнего предела также в чем-то согласуется с мнением Готтфрида и Блэйра⁶³ о том, что кризис может возникать «может быть, раз за поколение». Если возникает кризис в отношениях США и России, то его продолжительность в днях однородно распределена в интервале (13, 30). Уровни напряженности и вероятности непреднамеренной ядерной войны во время Кубинского ракетного кризиса были высокими в период продолжительностью от 13 дней⁶⁴ до 30 дней⁶⁵, в зависимости от того, что доминирует в определении риска в кризисе – напряженность в отношениях руководителей или уровни военной тревоги.

В модели предполагаются равные вероятности выбора годовых частот «обычных» ошибочных индикаторов ядерной атаки уровней MDC и TAC в период от 1977 до 1983 года, как это приведено в работах Марш и Уоллеса и др. В согласии с этими эмпирическими данными, в модели используются нулевая годовая частота ложных сигналов уровня TAC с вероятностью 4/7, и частота в два события уровня TAC в год с вероятностью 3/7; и в модели с равной вероятностью может использоваться одно из следующих значений годовой частоты событий уровня MDC: 43; 70; 78; 149; 186; 218; или 255 событий в год. В основном анализе предполагалось, что диапазоны годовых частот сигналов уровней MDC и TAC в период от 1977 до 1983 года существенно не изменялись. В эту статью также включены результаты параметрического анализа чувствительности результатов модели к изменениям предполагаемых частот сигналов ложной тревоги, например, для случая частот сигналов ложной тревоги, составляющих только некоторую долю от тех, какими они были в период с 1977 до 1983 года.

Предполагаемые в модели частоты атак ядерных террористов рассчитывались с помощью взвешенного по правдоподобию отбору из обзора Лугара оценок вероятности ядерной атаки в каком-то месте мира на протяжении 10 лет, преобразованных в подразумеваемые ожидаемые годовые частоты с перегруппировкой согласно уравнению (1), и используя приведенные в Приложении другие факторы. Вероятности ядерных атак из обзора Лугара оценивают диапазоны интервалов вероятностей атак до 0 до 1, но указанные в обзоре правдоподобия каждого интервала вероятности изменяются. Указанный в обзоре наиболее вероятный интервал вероятности – 0,05 вероятности атаки, имеет правдоподобие быть выбранным в модели данной статьи, равное 23 процентам (в модели в интервале с самой высокой вероятностью атаки используется 0,99 вместо 1, чтобы избежать бессмысленных результатов при преобразовании вероятностей за 10 лет в подразумеваемые ожидаемые годовые частоты). Чтобы получить вероятности атаки ядерных террористов, вероятности ядерных атак из обзора были умножены на величину 0,79, поскольку 79 процентов опрошиваемых в обзоре Лугара считали, что ядерные атаки должны быть атаками террористов (другие атаки были проведены правительствами).

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИ

Результаты оценок риска непреднамеренной ядерной войны

Вообще говоря, оценки сообщаются с точностью до одной значащей цифры для того, чтобы помочь избежать ложного впечатления точности. В таблице 1 приводятся оценки среднего и медианного значения годовой вероятности непреднамеренной ядерной войны как для базового варианта набора предположений «Опасное спокойствие», так и для варианта набора предположений «Безопасное спокойствие» для оценки чувствительности. Среднее оцениваемое значение годовой вероятности в варианте «Безопасное спокойствие», в котором

предполагается, что непреднамеренная ядерная война в период низкой напряженности отношений США и России невозможна, равно 0,01, и оно составляет примерно половину от вероятности непреднамеренной ядерной войны в предположениях базового варианта «Безопасное спокойствие», равной 0,02 (для медианных значений это отношение несколько меньше). Другими словами, общая частота возникновения непреднамеренной ядерной войны в периоды напряженных отношений США и России составляет примерно половину риска непреднамеренной ядерной войны для базового варианта модели «Опасное спокойствие». Это также означает, что общая частота возникновения непреднамеренной ядерной войны, приходящейся на периоды с низким уровнем напряженности в отношениях США и России, составляет другую половину оцениваемого риска непреднамеренной ядерной войны в базовом варианте модели.

Таблица 1. Оценка вероятности запуска ракет США или России за год в ответ на ошибочные индикаторы атаки другой стороны по модели.

Статистика вероятности	Предположения «Опасного спокойствия»	Предположения «Безопасного спокойствия»
Средняя	0,02	0,01
Медианная	0,009	0,003

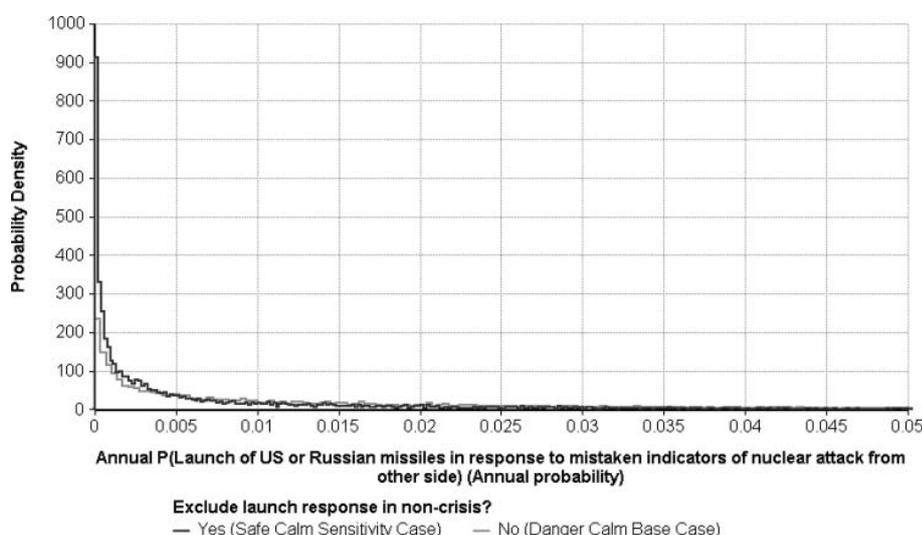


Рисунок 3. Функция плотности вероятности для оцениваемой по модели вероятности возникновения непреднамеренной ядерной войны в течение года. По вертикальной оси отложена плотность вероятности, по горизонтальной оси – вероятность запуска американских или российских ракет в ответ на ошибочные индикаторы ядерной атаки другой стороны. Толстой линией показаны результаты варианта с исключением запуска в период низкого уровня напряженности в отношениях США и России (вариант «Безопасное спокойствие»), тонкой линией – результаты варианта с запуском в период низкого уровня напряженности в отношениях США и России (вариант «Опасное спокойствие»).

В вероятности возникновения непреднамеренной ядерной войны в течение года, оцениваемой по модели, имеется значительная неопределенность, которая может быть представлена генерируемыми в модели выходными распределениями вероятности. На рисунке 3 показаны функции плотности вероятности (PDFs) для вероятности возникновения непреднамеренной ядерной войны в течение года. Эти функции показывают, что оцениваемые по модели наиболее вероятные значения в обоих вариантах находятся в нижней части распределений, но что распределения вероятности характеризуются длинными «хвостами». 90%-ый доверительный интервал (простирающийся от оценки 5-го перцентиля до модельной оценки 95-го перцентиля) делит в пределах от 0,0002 до 0,07 в базовом варианте, и от 0,00001 до 0,05 в варианте с исключением запуска в период низкого уровня напряженности отношений.

В таблице 2 приводятся оцененные в модели медианные значения годовых частот ошибочных указаний уровня МАС на атаку, связанных как с обычными типами ложных сигналов тревоги, которые уже наблюдались на американских системах раннего предупреждения, так и с атаками ядерных террористов. Общая оцененная медианная частота для обычных событий ложных сигналов тревоги по крайней мере на один порядок величины

превышает частоты атак ядерных террористов (то есть на один порядок величины в базовом варианте «Опасное спокойствие» и на три порядка величины в предположениях варианта определения чувствительности «Безопасное спокойствие»). С учетом предположений данной модели, атака ядерных террористов представляется намного менее вероятной причиной возникновения непреднамеренной ядерной войны, чем другие типы событий, которые уже вызывали ложные сигналы тревоги в американских и российских системах раннего предупреждения.

Таблица 2. Оцененные в модели общие медианные значения годовых частот ошибочных указаний уровня МАС на ядерную атаку.

Предположения	Из-за обычных ложных сигналов тревоги	Из-за атаки ядерных террористов
Опасное спокойствие	0,01	0,0006
Безопасное спокойствие	0,003	0,0000008

Влияние вариантов с уменьшением риска непреднамеренной ядерной войны

Перемещение стратегических подводных лодок от границ другой стороны для увеличения времени для принятия решения

В таблице 3 приведены результаты перемещения ракетных подводных крейсеров стратегического назначения (РПКСН) достаточно далеко от границ другой стороны таким образом, чтобы время полета любых запущенных с подводных лодок ракет было эквивалентно времени полета МБР наземного базирования, достаточно достоверным, чтобы другая сторона поверила этому. Представлены результаты следующих вариантов: вариант «статус-кво», вариант, в котором только одна сторона достоверно перемещает РПКСН, и вариант, в котором обе стороны достоверно перемещают РПКСН. Результаты показывают, что существенное уменьшение риска непреднамеренной ядерной войны может быть достигнуто перемещением РПКСН обеих сторон на большие расстояния от границ каждой стороны, даже в том случае, когда такое перемещение будет проведено только одной стороной.

Таблица 3. Влияние перемещения РПКСН на оцененную по модели медианную годовую частоту возникновения ядерной войны.

Предположения	Статус-кво	Одна сторона достоверно перемещает РПКСН	Обе стороны достоверно перемещают РПКСН
Опасное спокойствие	0,009	0,005	0,003
Безопасное спокойствие	0,003	0,001	0,0003

Понижение степени готовности на некоторое время

В таблице 4 приведены результаты моделирования влияния понижения степени готовности на некоторое время, предлагавшегося Подвигом, где ложные указания на атаку в течение периода пониженной степени готовности не будут приводить к контратаке. Результаты показывают, что уменьшение вероятности непреднамеренной ядерной войны в рассмотренных сценариях приблизительно пропорционально средней доле времени пониженной степени готовности для двух сторон. Например, если США и Россия временно понизят степень готовности в течение половины времени, то это понизит общий риск непреднамеренной ядерной войны примерно наполовину. Даже если только одна сторона будет придерживаться политики понижения уровня готовности в течение половины времени, то это сократит общий риск непреднамеренной ядерной войны приблизительно на 25 процентов.

Таблица 4. Влияние временного понижения уровня готовности на оцененную по модели медианную годовую частоту возникновения ядерной войны.

Предположения	Статус-кво	Одна сторона понижает уровень готовности в течение 50% времени	Обе стороны понижают уровень готовности в течение 50% времени
Опасное спокойствие	0,009	0,007	0,005
Безопасное спокойствие	0,003	0,002	0,001

Дополнительный анализ чувствительности и анализ неопределенности

В этом разделе представлены результаты дальнейшего исследования чувствительности модели к исходным предположениям. Сначала рассматривается относительно простой анализ чувствительности, включающий параметрическую вариацию «обычных» частот событий MDC и TAC. Для целей этого специфического анализа был введен коэффициент, позволяющий простую параметрическую корректировку отношения (1) частот событий MDC и TAC, используемых в модели в период с 1975 по 2012 год, по сравнению с (2) частотами, наблюдавшимися в Соединенных Штатах в период с 1977 по 1983 год⁶⁶. Это отношение параметрически варьировалось в интервале от 0 до 1. Равное 1 значение этого отношения соответствует тому, что распределение частот, наблюдавшееся в период от 1977 до 1983 года, применимо к периоду от 1975 до 2012 года; значение этого отношения, равное 0,5, означает, что действительные частоты и сейчас, и в прошедшем периоде, составляют только половину от того, что наблюдалось в период с 1977 по 1983 год. На рисунке 4 показаны результаты данного параметрического анализа, в котором все другие предположения в точности такие, как было объявлено ранее. Рисунок показывает, что влияние уменьшения частот «обычных» сигналов ложной тревоги на вероятность непреднамеренной ядерной войны не в точности пропорционально изменению частот сигналов ложной тревоги. Это более отчетливо наблюдается для предположений варианта «Опасное спокойствие», чем для предположений варианта «Безопасное спокойствие», но оно присутствует в обоих вариантах (и оно также более заметно в средних вероятностях непреднамеренной ядерной войны, чем в медианных, хотя на рисунке 4 показаны только медианные оценки). Эта нелинейность в основном возникает из-за того, что в модели предполагается, что вероятность продвижения с уровня TAC до уровня MAC зависит от оценки количества происшедших событий уровня TAC (использования уравнения (5) с n , равным количеству оцениваемых происшедших до текущего времени событий уровня TAC). В модели меньшая частота обычных сигналов ложной тревоги приводит к более высокой оцениваемой вероятности того, что событие уровня TAC продвинется до уровня MAC. Этот эффект изменяет уменьшение частоты ложных сигналов тревоги.

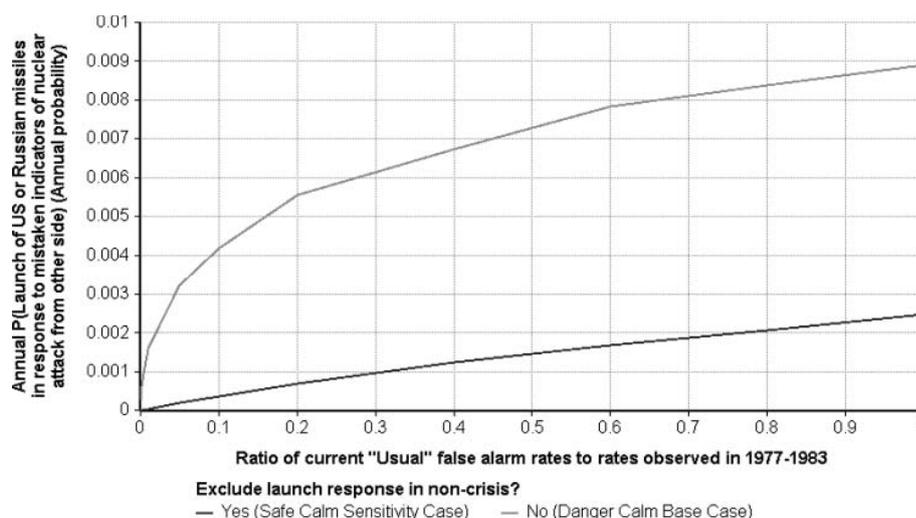


Рисунок 4. Зависимость оцениваемой по модели медианной вероятности возникновения непреднамеренной ядерной войны от частот сигналов уровней MDC и TAC. По вертикальной оси отложена вероятность запуска американских или российских ракет в ответ на ошибочные индикаторы ядерной атаки другой стороны в течение года, по горизонтальной оси – отношение текущих «обычных» частот сигналов ложной тревоги к частотам, наблюдавшимся в период 1977-1983 годов. Толстой линией показаны результаты варианта с исключением запуска в период низкого уровня напряженности в отношениях США и России (вариант «Безопасное спокойствие»), тонкой линией – результаты варианта с запуском в период низкого уровня напряженности в отношениях США и России (вариант «Опасное спокойствие»).

Во вторых, для идентификации входных параметров, неопределенности которых (как они отражаются в предполагаемых распределениях вероятности) сильнее всего влияют на неопределенности выходных параметров модели, был выполнен анализ важности неопределенностей с помощью программного пакета Analytica. В этом анализе абсолютная упорядоченная корреляция между каждой входной выборкой и выходными значениями использовалась в качестве индикатора устойчивости монотонных отношений между каждым неопределенным входом и выбранным выходом⁶⁷. Анализ позволил предположить, что относительно важные наборы

факторов включают времена принятия решений, связанные с событиями МДС (отобранные для стороны, принимающей индикаторы), ежегодное количество сигналов ТАС, базовую вероятность того, что обнаруженная атака связана с МБР, а не с БРПЛ, и вероятности того, что руководители запустят ракеты в ответ на ложные индикаторы ядерной атаки уровня МАС. Относительная важность этих факторов зависит от того, какие предположения были использованы (вариант «Безопасное спокойствие», или вариант «Опасное спокойствие»), и от уровня напряженности в отношениях между США и Россией. Эти результаты не удивительны, учитывая роль этих факторов в моделях непреднамеренной ядерной войны Уоллеса и др., и Сеннота⁶⁸, и из-за того, что особенности этих моделей были включены в нашу модель. Другие неопределенности входных параметров модели обычно оказывают существенно меньшее влияние на неопределенности выходных параметров модели. Например, даже хотя модель, как кажется, в этой модели существует большая неопределенность в отношении вероятности атаки ядерных террористов, эта неопределенность в данном контексте относительно незначительна, возможно, из-за намного меньшей оцениваемой годовой частоты событий ядерного терроризма по сравнению с другими, более частыми ложными индикаторами ядерной атаки.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка обоснованности модели

Тот факт, что за последние сорок лет ядерная война между Соединенными Штатами и СССР или Россией так и не началась, предсказания относительно низких вероятностей войны интуитивно кажутся более вероятными, чем предсказания относительно высоких вероятностей войны. Тесты статистической значимости могут предоставить более количественную проверку восприимчивости оценок модели. Например, используя биномиальное распределение для определения доверительного интервала для вероятности события p , и учитывая, что в n независимых случайных попытках не было обнаружено таких событий, вероятность p будет лежать в интервале $[0, u]$ с доверительной вероятностью $(1 - \alpha)$, где $u = 1 - \alpha^{(1/n)}$ дает верхнюю границу доверительного интервала⁶⁹. Если использовать $\alpha = 0,05$ для того, чтобы определить u как верхний предел 95-процентного доверительного интервала, задавая $n = 37$ независимых попыток (то есть каждый год с 1975 по 2012) без возникновения события, то тогда $u = 0,08$. Другими словами, учитывая, что между Соединенными Штатами и Россией не произошло непреднамеренной ядерной войны в течение 37-летнего периода, для которого в данной статье предполагается наличие ее моделируемых систем и процедур отклика, эти расчеты могут быть статистическим аргументом для отбрасывания (с доверительностью в 95 процентов) вероятностной модели, которая выдает наилучшую оценку (то есть, среднее значение) вероятности возникновения ядерной войны в течение года, превышающей 0,08. Поскольку модель, используемая в данной статье, производит наилучшие оценки вероятности непреднамеренной войны между США и Россией в течение года, намного меньшие 0,08, этот статистический тест не предполагает отбрасывания оценок модели с 95-процентной доверительностью. Тем не менее, многие читатели могут интуитивно почувствовать, что даже если вероятность возникновения ядерной войны в течение года в восемь процентов кажется слишком высокой для того, чтобы быть полезным ограничителем достоверности модели. В любом случае, может оказаться более продуктивным проверить или пересмотреть конкретные предположения или параметры внутри модели, такие, как дополнительные данные по частотам и вероятностям событий ложной тревоги, когда станет доступной новая информация. Может также оказаться полезным использовать дополнительные эмпирические данные для проверки предположений модели, которые базировались в основном на умозаключениях математического моделирования, а не на эмпирических данных (из-за ограниченного количества эмпирических данных). Одним из примеров является предположение в уравнении (4) о том, что времена разрешения ложных сигналов тревоги МДС распределены экспоненциально⁷⁰.

Одной из дополнительных проверок обоснованности модели, часто используемой в имитационном моделировании, является сравнение результатов различных моделей или предположений. Возможно, моделью с наиболее легко сравнимыми выходными параметрами (то есть, вероятностью ядерной войны в течение года) является модель Хеллмана, который использовал подход и предположения, отличающиеся от подхода в данной статье, для оценки того, что «частота нарушения сдерживания [ядерной войны США и России] от всех источников порядка одного процента в год». Это приблизительно эквивалентно оцененной в нашей статье медианной годовой вероятности непреднамеренной ядерной войны в варианте «Опасное спокойствие». Однако, следует отметить, что оценка Хеллмана учитывает «все источники», и не только рассматриваемые здесь сценарии непреднамеренной ядерной войны. Оценка Хеллмана не зависит от явным образом оцененных частот сигналов ложной тревоги, и от оценки вероятности запуска атаки американским или российским руководителем в ответ на ложный сигнал тревоги.

Ограничения модели

В применяемой здесь модели по необходимости используются численные приближения к реальности. Как отмечалось ранее, в модели предполагается, что советские (российские) системы раннего предупреждения и процедуры отклика достаточно похожи, чтобы считаться эквивалентными системам и процедурам Соединенных Штатов, по крайней мере на установленном в модели уровне детализации. Даже если базовая структура модели обоснованно точна, вполне возможно, что имеются существенные различия между Соединенными Штатами и Россией в реально существующих значениях некоторых параметров модели, таких, как частоты появления ложных индикаторов атаки.

Как отмечалось ранее, в данной статье предполагается, что все переменные в модели случайны и не коррелированы, за исключением тех случаев, где устанавливается обусловленность. Предполагается также, что времена появления конкретных событий ложных индикаторов атаки являются существенным образом случайными (по меньшей мере, как они могут быть определены с точки зрения американских или российских систем раннего предупреждения и лиц, принимающих решения). Например, в модели предполагается, что террористы не будут намеренно выбирать время своей атаки так, чтобы оно приходилось на кризис в отношениях между США и Россией, и если они совпадут по времени, то это произойдет совершенно случайно. Однако, это предположение может оказаться неверным. Кроме того, некоторые сценарии террористической ядерной атаки более вероятно, чем другие, могут быть интерпретированы системами раннего предупреждения США или России как указания на ядерную атаку другой стороны. Например, Блэйр⁷¹ приводит одно доступное в открытой печати обсуждение сценария ядерной террористической атаки, который, вероятно, может быть воспринят Россией как указание на ядерную атаку из Соединенных Штатов. Такие сценарии могут быть выбраны террористами без намерения вызвать непреднамеренную ядерную войну, может быть, просто из-за того, что такая возможность представится им перед возможностью другой ядерной атаки, и она покажется им более легкой, или имеющей больше шансов на успех. В данной статье такие сценарии не рассматриваются. Однако, оценка таких вопросов может, и должна быть проведена, частично с использованием разработанной здесь общей схемы.

Используемые здесь источники и методы оценки параметров подвержены важным ограничениям. Ни одно из них не представляется несовместимым с основной целью статьи, заключающейся в предоставлении интервалов оценок с использованием доступной информации, поскольку источники и методы в основном использовались для установления распределений значений параметров, или для отражения неопределенностей в доступных данных. Однако, как кажется, ограничения вероятно приведут к смещениям, или, по крайней мере, к нескольким неожиданным оценкам. Один пример связан с использованием асимметричных распределений для представления неопределенностей в нескольких параметрах, в которых среднее и медианное значения больше, чем наиболее вероятное значение. Другая важная категория примеров возникает из того факта, что для многих рассматриваемых сценариев применимых возникших и публично известных исторических случаев очень мало, или их нет вообще. Методы, используемые для оценки частот отказов компонентов систем без известных случаев отказов лучше приспособлены для предоставления диапазона оцениваемых частот отказов, чем для получения наилучшей оцениваемой частоты отказов на основании малого количества данных, хотя эта последняя величина зависит от используемого метода статистической оценки⁷². Недостатки подхода могут быть наиболее очевидными в трактовке вероятности принятия руководителями решения о запуске атаки в ответ на ложные индикаторы ядерной атаки. Такого события до сих пор не происходило. Авторам данной статьи в настоящее время известно только об одном историческом появлении события уровня MAC, связанного с запуском норвежской ракеты в 1995 году, когда индикаторы ядерных атак системы раннего предупреждения привели к тому, что и американский, и российский руководитель явным образом рассматривали немедленный ядерный отклик на индикаторы атаки⁷³. Обширная описательная, нормативная и предписывающая литература по принятию ядерного решения обращается к многим сложным и разнообразным организационным и познавательным процессам и примерам, которые могут повлиять на реальные отклики на индикаторы, но большая часть из них конкретно не включена в эту статью.

Используя информацию о возникновении исторических происшествий для оценки частоты или вероятности появления аналогичных событий в будущем связано также с другими недостатками. Например, некоторые из условий и процедур, присутствовавших во время исторического происшествия, могут быть уже изменены, или будут изменены в ближайшем будущем. Используемые в этой статье данные по частотам событий уровней MDC и TAC относятся к периоду тридцатилетней давности, и важно отметить, что основной анализ данной статьи предполагает, что эти частоты существенно не изменились, несмотря на любые подлежащие изменения в технологии, процедурах и стратегиях в период от 1970-х годов до 2013 года. Хотя авторам этой статьи не известно о более поздних ложных сигналах тревоги в США, помимо отраженных в использованных в этой статье данных о частотах событий уровней MAC и TAC, это может быть в первую очередь связано с тем, что

NORAD после середины 1980-х годов решил не раскрывать информацию о частотах ложных сигналов тревоги⁷⁴, а не тем, что ложные сигналы тревоги не возникали. Кроме того, недавно возникали примечательные происшествия другого рода, такие, как непредусмотренный полет шести американских крылатых ракет с ядерными боеголовками в 2007 году⁷⁵, и нарушение связи между 50 американскими ядерными БРПЛ и их операторами на 45 минут 23 октября 2010 года⁷⁶, что позволяет предположить, что ядерные операции, системы и меры безопасности не стали свободными от поразительных ошибок после окончания холодной войны. В данной статье предполагается, что общая структура датчиков двойной феноменологии, используемая Соединенными Штатами и Россией, существенно не изменилась, что кажется согласующимся с более поздними обсуждениями⁷⁷, хотя представляется вероятным, что некоторые характеристики используемых сейчас датчиков изменились. Даже если общая структура в целом осталась неизменной, могут измениться частоты событий, эквивалентных уровням MDC и TAC. Кроме того, даже если с 1983 года в системах датчиков раннего предупреждения не изменилось ничего важного, ограниченный интервал времени получения данных с 1977 по 1983 год представляет только небольшую выборку для оценки частоты событий.

Оценки, используемые в данной статье для вероятности ядерной террористической атаки, и кризиса в отношениях между США и Россией, также вероятно кажутся переоцененными. Оценки вероятности ядерной террористической атаки в обзоре Лугара вероятно кажутся переоцененными истинными мнениями респондентов, потому что видимая структура обзора, по-видимому, вводит комбинацию смещения из-за эффекта привязки⁷⁸ и смещения из-за выравнивания диапазона⁷⁹. Оценка Хеллмана годовой вероятности кризиса отношений между Соединенными Штатами и Россией основана на довольно простой экстраполяции отношений между США и СССР и между США и Россией, в которой доминируют отношения между США и СССР во время холодной войны из-за их более длинной истории (холодная война между США и СССР длилась примерно четыре десятилетия, а Россия занимает свое место в течение двух десятилетий). Можно обоснованно предположить, что вероятность кризиса отношений США и России меньше, чем вероятность кризиса отношений между США и СССР во время холодной войны. Тем не менее, отношения также могут деградировать во многих сценариях, и уже сейчас могут быть несколько натянутыми из-за таких событий, как присутствие средств противоракетной обороны США в Европе⁸⁰. С другой стороны, из модели следует, что если непреднамеренная ядерная война в течение периодов с низким уровнем напряжения в отношениях между США и Россией невозможна, то тогда общая годовая вероятность непреднамеренной ядерной войны будет приблизительно пропорциональна вероятности кризиса.

ПОЛИТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ И СООБРАЖЕНИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ

На основании предположений модели ядерные системы и позиции Соединенных Штатов и России продолжают представлять существенные риски непреднамеренной ядерной войны, согласующиеся с предыдущими исследованиями рисков непреднамеренной ядерной войны. Анализ указывает также на то, что рассматриваемые здесь стратегии уменьшения риска могут представлять собой значительную ценность, хотя некоторые вопросы должны быть рассмотрены перед реализацией этих стратегий.

В модели рассматривается вероятность непреднамеренной ядерной войны в периоды низкой степени напряженности и высокой степени напряженности (на уровне кризиса) между Соединенными Штатами и Россией. Хотя в модели предполагается, что кризисы в отношениях США и России возникают редко, такие кризисы представляют примерно половину оцениваемого по модели полного риска непреднамеренной ядерной войны по предположениям базового варианта «Опасное спокойствие». Ложные сигналы тревоги, возникающие в периоды низкого уровня напряженности в отношениях между США и Россией, составляют вторую половину оцениваемого в базовом варианте модели риска непреднамеренной ядерной войны. Хотя многие авторы уделяют особое внимание стабильности в кризисных ситуациях, если справедливы предположения базового варианта «Опасное спокойствие» (то есть, что американские или российские руководители будут рассматривать запуск ракет в ответ на указатели на атаку в период относительно низкого уровня напряженности между США и Россией), то тогда модель предполагает, что существенная опасность будет существовать и в периоды низкого уровня напряженности в отношениях. Хотя в прошлом многое было сделано для минимизации риска непреднамеренной ядерной войны в мирное время, существует значительный смысл в поиске корректировки ядерных позиций США и России для дальнейшего уменьшения вероятности непреднамеренной ядерной войны в периоды низкого уровня напряженности в отношениях.

Анализ в этой статье согласуется с другими работами, такими, как Мошера и др., в предположении того, что одним из наиболее важных факторов риска непреднамеренной ядерной войны являются короткие времена принятия решения о запуске, которые определяются стратегией запуска контратакующих ракет до того, как

проявится действие приближающейся атаки. Анализ позволяет предположить, что можно будет добиться значительной выгоды от того, что каждая сторона переместит свои стратегические подводные лодки (РПКСН) достаточно далеко от побережья другой стороны для того, чтобы значительно увеличить интервал времени между регистрацией запуска баллистических ракет с подводных лодок (БРПЛ) и их подлетом к целям. Однако, может оказаться необходимым разработать соответствующие методы для верификации обмениваемой информации по расположению РПКСН для того, чтобы сделать перемещения заслуживающими доверия другой стороны. Кроме того, стоило бы оценить новые риски, такие, как потенциал одной стороны использовать ожидание другой стороны, что она не будет больше использовать РПКСН для атак на малом расстоянии для того, чтобы начать неожиданную атаку с помощью РПКСН.

Этот анализ также поддерживает предложение Подвига по уменьшению риска непреднамеренной ядерной войны за счет понижения уровней готовности в некоторые промежутки времени в предположении, что понижение уровней готовности не будет надежно обнаруживаться другой стороной. Если временное понижение уровней готовности будет реализовано, оно должно быть подкреплено постоянной проверкой невозможности обнаружения временного понижения уровней готовности (например, группами аналитиков, исполняющими роль соперников). Если понижение уровня готовности становится верифицируемым, то верификация уровня готовности должна будет стать частью расширенного соглашения по понижению уровня готовности. Тем не менее, имеется возможность, что одна из сторон сможет разработать средства обнаружения уровня готовности до другой стороны, и это может увеличить неустойчивость первого удара.

Способ, которым в данной статье моделируется предложение Подвига по понижению уровней готовности в некоторые промежутки времени, был несколько упрощенным для того, чтобы способствовать анализу. Первоначальное предложение Подвига заключалось в том, чтобы Соединенные Штаты и Россия «реализовали политику выведения своих сил из состояния повышенной боевой готовности в течение большей части времени...». Предположительно это должно в первую очередь относиться к периодам с низким уровнем напряженности; в предельном случае обе стороны должны поддерживать свои силы на пониженном уровне готовности в течение почти 100 процентов времени в периоды с низким уровнем напряженности. Это будет соответствовать варианту для анализа чувствительности «Безопасное спокойствие», в котором непреднамеренная ядерная война может возникнуть в периоды кризиса отношений, но вообще не может начаться в периоды без кризиса.

И, наконец, и Соединенные Штаты, и Россия должны работать над идентификацией и оценкой вероятностей в сценарии, в котором террористы могут вызвать непреднамеренную ядерную войну, будь то в случае определенной цели террористов, или как непредусмотренного последствия ядерной террористической атаки. Хотя модель показывает, что годовая частота или вероятность таких событий как причины непреднамеренной ядерной войны на порядки величины меньше, чем от ложных сигналов тревоги, с которыми имеют дело Соединенные Штаты и Россия, но также возможно, что в анализе не были учтены важные аспекты поведения террористов⁸¹, которые могут привести к большей вероятности того, что террористы могут инициировать ядерную войну между Соединенными Штатами и Россией. Например, у террористов могут быть как намерение, так и возможность для того, чтобы (1) провести атаки, имитирующие атаки первого удара ядерных ракет другой стороны, такие, как атаки ядерными ракетами⁸², (2) повысить вероятность кризиса отношений Соединенных Штатов и России либо ядерной атакой, либо другими действиями, или (3) специально взорвать ядерное устройство в период кризиса отношений между Соединенными Штатами и Россией⁸³.

ФИНАНСИРОВАНИЕ И БЛАГОДАРНОСТИ

Основная финансовая поддержка этой работы была получена от организации «Спасение человечества от человека разумного» и от Яана Таллинна. Авторы благодарят за замечания Мартина Хеллмана, Джеймса Скураса, Росса Снэра, Тренора Пайла, Мэтью Фарго, Натана Донохью, Р. Скотта Кемпа, Эвана Зальцмана, Генри Уиллиса, Вики Бир, Дэниэла Гонзалеса, редакторов журнала, двух анонимных реферри, и за другие обсуждения, которые многими способами помогли улучшить этот анализ. Однако, любые мнения, результаты, выводы, или рекомендации в данном документе принадлежат авторам и не отражают взглядов других.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Alan Robock, Luke Oman, and Georgiy L. Stenichkov, "Nuclear Winter Revisited with a Modern Climate Model and Current Nuclear Arsenals: Still Catastrophic Consequences," *Journal of Geophysical Research* 112, D13107 (2007): 9.
2. Carl Sagan, "Nuclear War and Climatic Catastrophe: Some Policy Implications," *Foreign Affairs* 62, 2 (1983): 274,

- 291–293. Paul R. Ehrlich et al., “Long-Term Biological Consequences of Nuclear War,” *Science* 222, 4630 (1983): 1299.
3. Bruce G. Blair, *The Logic of Accidental Nuclear War* (Washington, DC: Brookings, 1993), 2–9.
 4. Robert Powell, *Nuclear Deterrence Theory: The Search for Credibility* (New York: Cambridge University Press, 1990), 3. Thomas C. Schelling, *The Strategy of Conflict* (Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1960), 187–203.
 5. Scott D. Sagan, *Moving Targets* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1990), 176–178. Karas, *De-Alerting Strategic Nuclear Weapons*, 7–22.
 6. Pavel Podvig, “The Operational Status of the Russian Space-Based Early Warning System,” *Science & Global Security* 4 (1994): 364.
 7. Bradley A. Thayer, “The Risk of Nuclear Inadvertence: A Review Essay,” *Security Studies* 3, 3 (1994): 442–445. Joseph Cirincione, “The Continuing Threat of Nuclear War,” in *Global Catastrophic Risks*, ed. Nick Bostrom and Milan M. Cirkovic (Oxford: Oxford University Press, 2008), 381–401. Martin Hellman, “How Risky Is Nuclear Optimism?” *Bulletin of the Atomic Scientists* 67, 2 (2011): 47–56.
 8. Hans M. Kristensen and Robert M. Norris, “Reviewing Nuclear Guidance: Putting Obama’s Words into Action,” Arms Control Association [http://www.armscontrol.org/act/2011/11/Reviewing Nuclear .Guidance .Putting Obama Words .Into Action](http://www.armscontrol.org/act/2011/11/Reviewing_Nuclear_Guidance_Putting_Obama_Words_Into_Action) (accessed 10 January 2012). Pavel Podvig, “Reducing the Risk of an Accidental Launch,” *Science & Global Security* 14 (2006): 75–76.
 9. Scott D. Sagan, *The Limits of Safety: Organizations, Accidents, and Nuclear Weapons* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1993), 99–100, 221, 225–246.
 10. Michael D. Intriligator and Dagobert L. Brito, “Accidental Nuclear War: An Important Issue for Arms Control,” in *Proceedings of the 18th Pugwash Workshop on Nuclear Forces*, ed. Derek Paul, Michael D. Intriligator, and Paul Smoker (Ontario, Canada: Samuel Stevens & Company, 1990), 9. David Mosher, Lowell H. Schwartz, David R. Howell, Lynne E. Davis, *Beyond the Nuclear Shadow: A Phased Approach for Improving Nuclear Safety and U.S.-Russian Relations* (Santa Monica, California: RAND, 2003), MR-1666-NSRD, 14–15.
 11. Robert Ayson, “After a Terrorist Nuclear Attack: Envisaging Catalytic Effects,” *Studies in Conflict & Terrorism* 33 (2010): 7, 20.
 12. Graham T. Allison, *Nuclear Terrorism: The Ultimate Preventable Catastrophe* (New York: Times Books, 2004), 1–120.
 13. NCTAUIUS, *The 9/11 Commission Report* (Washington, DC: National Commission on Terrorist Attacks Upon the United States, 2004), 380. Matthew Bunn, “Guardians at the Gates of Hell: Estimating the Risk of Nuclear Theft and Terrorism—and Identifying the Highest-Priority Risks of Nuclear Theft” (Massachusetts Institute of Technology, 2007), 37–43.
 14. Bruce G. Blair and Garry D. Brewer, “The Terrorist Threat to World Nuclear Programs,” *The Journal of Conflict Resolution* 31 (1977): 3, 379–403. Bruce G. Blair, “Could Terrorists Launch America’s Nuclear Missiles?” *Time.com* <http://www.time.com/time/nation/article/0,8599,2030685,00.html> (accessed October 19th, 2010).
 15. Schelling, *Strategy of Conflict*, 186–203 (ссылка 4). Blair, *Logic of Accidental Nuclear War*, 1–9 (ссылка 3).
 16. Henry S. Rowen, “Catalytic Nuclear War,” in *Hawks, Doves & Owls: An Agenda for Avoiding Nuclear War*, ed. Graham T. Allison, Albert Carnesale, and Joseph S. Nye Jr. (New York: W.W. Norton & Co., 1985), 148–163.
 17. Paul J. Bracken, “Accidental Nuclear War,” in *Hawks, Doves & Owls: An Agenda for Avoiding Nuclear War*, ed. Graham T. Allison, Albert Carnesale, and Joseph S. Nye Jr. (New York: W.W. Norton & Co., 1985), 25–53.
 18. Martin Hellman, “Risk Analysis of Nuclear Deterrence,” *The Bent of Tau Beta Pi*, Spring (2008): 18.
 19. T. J. Bedford and R. M. Cooke, *Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods* (New York: Cambridge University Press, 2001), 99–152.
 20. Charles Perrow, *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies* (New York: Princeton University Press, 1984), 62–100. Sagan, *The Limits of Safety*, 11– 52 (ссылка 9).
 21. Daniel Frei, *Risks of Unintentional Nuclear War* (Totowa, New Jersey: Allanheld, Osmun & Co., 1983), 222–223. Michael D. Wallace, Brian L. Crissey, and Linn I. Sennott, “Accidental Nuclear War: A Risk Assessment,” *Journal of Peace Research* 23 (1986): 1, 23–24.
 22. Nick Bostrom and Milan M. Cirkovic, “Introduction,” in *Global Catastrophic Risks*, ed. Nick Bostrom and Milan M. Cirkovic (New York: Oxford University Press, 2008), 2–3. Anders Sandberg and Nick Bostrom, “Global Catastrophic Risks Survey,” Future of Humanity Institute, Oxford University [http://www.fhi.ox.ac.uk/_data/assets/pdf file/0020/3854/global-catastrophic-risks-report.pdf](http://www.fhi.ox.ac.uk/_data/assets/pdf_file/0020/3854/global-catastrophic-risks-report.pdf) (accessed 12 January 2012).
 23. Hellman, “Risk Analysis of Nuclear Deterrence,” 20–21 (ссылка 18).
 24. Wallace, Crissey, and Sennott, “Accidental Nuclear War,” 11–23 (ссылка 21).

25. Barbara Marsh, "The Probability of Accidental Nuclear War: A Graphical Model of the Ballistic Early Warning System" (Naval Postgraduate School, 1985), 23–71. Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 11–27 (ссылка 21).
26. Blair, *Logic of Accidental Nuclear War*, 55 (ссылка 3). Pavel Podvig, ed., *Russian Strategic Nuclear Forces*, Paperback ed. (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2004), 567, 577–578.
27. Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 13, 26–27 (ссылка 21).
28. Zia Mian, R. Rajaraman, and M.V. Ramana, "Early Warning in South Asia – Constraints and Implications," *Science and Global Security* 11 (2003): 128–131.
29. Blair, *Logic of Accidental Nuclear War*, 168–218 (ссылка 3). Sagan, *The Limits of Safety*, 119 (ссылка 9).
30. Marsh, "Probability of Accidental Nuclear War," 33–60 (ссылка 25). Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 13–15 (ссылка 21).
31. Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 15–20 (ссылка 21).
32. Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 14–23 (ссылка 21). Blair, *Logic of Accidental Nuclear War*, 155, 168–218 (ссылка 3).
33. Marsh, "Probability of Accidental Nuclear War," 26–27, 47–49, 63–66 (ссылка 25).
34. Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 14, 22–24 (ссылка 21). Blair, *Logic of Accidental Nuclear War*, 168–218 (ссылка 3).
35. James R. Low, "De-Alerting the U.S. and Russian Nuclear Arsenals: An Unlikely Method of Arms Control" (Master's Thesis, Naval Postgraduate School, 1999), 66–68. Pavel Podvig, "History and the Current Status of the Russian Early-Warning System," *Science & Global Security* 10 (2002): 21–26.
36. Podvig, "Reducing Risk of Accidental Launch," 80 (ссылка 8). Albert Carnesale, Joseph S. Nye Jr., and Graham T. Allison, "An Agenda for Action," in *Hawks, Doves & Owls: An Agenda for Avoiding Nuclear War*, ed. Graham T. Allison, Albert Carnesale, and Joseph S. Nye Jr. (New York: W.W. Norton & Co., 1985), 232.
37. M. E. Pate-Cornell and Paul Fischbeck, "Probabilistic Interpretation of Command and Control Signals: Bayesian Updating of the Probability of Nuclear Attack," *Reliability Engineering & System Safety* 47 (1995): 1, 27–36.
38. Karas, *De-Alerting Strategic Nuclear Weapons*, 17 (ссылка 5).
39. Marsh, "Probability of Accidental Nuclear War," 62 (ссылка 25). Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 21 (ссылка 21).
40. Blair, "Could Terrorists Launch America's Missiles?" (ссылка 14).
41. Richard G. Lugar, *The Lugar Survey on Proliferation Threats and Responses* (Washington, DC, 2005), 13–17.
42. Matthew Bunn, "A Mathematical Model of the Risk of Nuclear Terrorism," *The Annals of the American Academy of Political and Social Science* 607 (2006): 1, 106–107. Bunn, "Guardians at the Gates of Hell," 119–121 (ссылка 13).
43. Graham T. Allison, "Nuclear Deterrence in the Age of Nuclear Terrorism," *Technology Review* (October 20, 2008): 68–73.
44. CDI, "Hearing of the Energy and Water Subcommittee of the House Appropriations Committee; Subject: Weapons Activities Oversight; Chaired by Representative Peter Visclosky (D-in); Witnesses: Senator Sam Nunn, Co-Chairman and Ceo, Nuclear Threat Initiative; Dr. William Perry, Former Secretary of Defense; General James E. Cartwright, Commander, U.S. Strategic Command; Dr. Richard Garwin, IBM Fellows Emeritus at the Thomas J. Watson Research Center; Location: 2362b Rayburn House Office Building, Washington, D.C.; Time: 10:00 AM EDT; Date: Thursday, March 29, 2007," Center for Defense Information / Federal News Service <http://www.cdi.org/PDFs/Energy%20and%20Water%20Subcommittee%20Hearing.pdf> (accessed 28 May 2012).
45. Elizabeth A. Casman, M. Granger Morgan, and Hadi Dowlatabadi, "Mixed Levels of Uncertainty in Complex Policy Models," *Risk Analysis* 19, 1 (1999): 33–42. M.G. Morgan and M. Henrion, *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis* (Cambridge: Cambridge University Press, 1990), 39–44.
46. Bernard Bereanu, "On the Probability of Self-Activation of the World Nuclear Weapons Stockpile," *Methods of Operations Research* 44 (1981): 507–520. Marsh, "Probability of Accidental Nuclear War," 61–71 (ссылка 25). Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 21 (ссылка 21).
47. Dimitri P. Bertsekas and John N. Tsitsiklis, *Introduction to Probability, 2nd ed.* (Belmont, Massachusetts: Athena Scientific, 2002), 309–325.
48. Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 21 (ссылка 21).
49. Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 22 (ссылка 21).
50. Lugar, *Lugar Survey on Proliferation*, 13–17 (ссылка 41). Hellman, "Risk Analysis of Nuclear Deterrence," 20–21 (ссылка 7).
51. Marsh, "Probability of Accidental Nuclear War," 62 (ссылка 25). Wallace, Crissey, and Sennott, "Accidental Nuclear War," 21 (ссылка 21).

52. Morgan and Henrion, *Uncertainty*, 85–96, 198–205 (ссылка 45).
53. Robert T. Bailey, “Estimation from Zero-Failure Data,” *Risk Analysis* 17 (1997): 380.
54. Morgan and Henrion, *Uncertainty*, 39–44 (ссылка 45). Averill M. Law and W. David Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, Third ed. (New York, New York: McGraw-Hill, 2000), 292–298.
55. K.C. Bailey and F.D. Barish, *De-Alerting of U. S. Nuclear Forces: A Critical Appraisal* (Livermore, California: Lawrence Livermore National Laboratory, 1998), UCRL-LR-132030, 8–13. Josef Joffe and James Davis, “Less Than Zero: Bursting the New Disarmament Bubble,” *Foreign Affairs* 90, 1 (2011): 7–13.
56. Mosher et al., *Beyond the Nuclear Shadow*, 39–44, 67–77 (ссылка 10). Wallace, Crissey, and Sennott, “Accidental Nuclear War,” 13–25 (ссылка 21).
57. Mosher et al., *Beyond the Nuclear Shadow*, 70–77 (ссылка 10). Bailey and Barish, *De-Alerting of Nuclear Forces*, 10–13 (ссылка 55).
58. Podvig, “Reducing Risk of Accidental Launch,” 89 (ссылка 8).
59. Bailey and Barish, *De-Alerting of Nuclear Forces*, 10 (ссылка 55).
60. Lumina Decision Systems, professional version 4.2.3.7.
61. Сетевое приложение опубликовано вместе со статьей на веб-сайте журнала.
62. Gerald J. Hahn and Samuel S. Shapiro, *Statistical Models in Engineering* (New York: John Wiley & Sons, 1967): 241–245.
63. Bruce G. Blair and Kurt Gottfried, “Introduction,” in *Crisis Stability and Nuclear War*, ed. Bruce Blair and Kurt Gottfried (New York: Oxford University Press, 1988), 3.
64. Hellman, “Risk Analysis of Nuclear Deterrence,” 21 (ссылка 18).
65. Wallace, Crissey, and Sennott, “Accidental Nuclear War.” (ссылка 21).
66. Marsh, “Probability of Accidental Nuclear War.” (ссылка 25). Wallace, Crissey, and Sennott, “Accidental Nuclear War,” 21, 26 (ссылка 21).
67. Morgan and Henrion, *Uncertainty*, 275–276 (ссылка 45). Lonnie Chrisman et al., “Analytica User Guide,” (Los Gatos, California: Lumina Decision Systems, 2007), 277–278.
68. Linn I. Sennott, “Overlapping False Alarms: Reason for Concern?,” in *Breakthrough: Emerging New Thinking*, ed. Anatolii Andreevich Gromyko and Martin E. Hellman (New York: Walker and Company, 1988), 39–44.
69. James A. Hanley and Abby Lippman-Hand, “If Nothing Goes Wrong, is Everything all Right?” *Journal of the American Medical Association* 249 (1983): 1743–1745. John Quigley and Matthew Revie, “Estimating the Probability of Rare Events: Addressing Zero Failure Data,” *Risk Analysis* 31 (2011): 1120–1132.
70. Wallace, Crissey, and Sennott, “Accidental Nuclear War,” 22, 27 (ссылка 21).
71. Blair, “Could Terrorists Launch America’s Missiles?” (ссылка 14).
72. Quigley and Revie, “Estimating Probability of Rare Events,” 1120–1132 (ссылка 69).
73. Low, “De-Alerting Nuclear Arsenals,” 70–73 (ссылка 35).
74. Lyle V. Anderson, ““Unintended” Nuclear War: The American Cosmos and Global Chaos,” *Journal for Peace and Justice Studies* 1, (1988): 26.
75. Barbara Starr, “Air Force Investigates Mistaken Transport of Nuclear Warheads,” CNN.com http://articles.cnn.com/2007-09-05/us/loose.nukes.1.nuclear-weaponsnuclear-warheads-missiles?_s=PM:US (accessed July 22nd, 2012).
76. Blair, “Could Terrorists Launch America’s Missiles?” (ссылка 14).
77. Mosher et al., *Beyond the Nuclear Shadow*, 15–31 (ссылка 10).
78. Morgan and Henrion, *Uncertainty*, 106–107 (ссылка 45).
79. R. L. Boring, “A Review of Expertise and Judgment Processes for Risk Estimation,” in *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference (ESREL 2007)* (2007), 6.
80. Hellman, “Risk Analysis of Nuclear Deterrence,” 17 (ссылка 18).
81. Vicki M. Bier, Louis Anthony Cox Jr., and M. Naceur Azaiez, “Why Both Game Theory and Reliability Theory are Important in Defending Infrastructure against Intelligent Attacks,” in *Game Theoretic Risk Analysis of Security Threats*, ed. Vicki M. Bier and M. Naceur Azaiez (New York: Springer, 2009), 1–11.
82. Blair, “Could Terrorists Launch America’s Missiles?” (ссылка 14).
83. Ayson, “After Terrorist Nuclear Attack”: 20 (ссылка 11).