

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОБСУЖДЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ «ПАТРИОТ» ВО ВРЕМЯ ВОЙНЫ В ПЕРСИДСКОМ ЗАЛИВЕ

*Джереми Д. Салливан, Дэн Фенстермахер, Дэниэл Фишер, Рут Хоуэс,
О'Дин Джадд, Роджер Спид*

Эффективность системы противоракетной обороны для театра военных действий «Патриот» PAC-2 в войне в Персидском заливе вызвала продолжительные публичные дебаты беспрецедентных размеров. Мы обсудим технические аспекты обсуждений системы «Патриот», обратив особое внимание на два официальных исследования Армии США функционирования системы «Патриот», и на анализ функционирования системы «Патриот», проведенный двумя учеными из Массачусетского технологического института с использованием видеозаписей, сделанных коммерческими информационными агентствами во время войны в Персидском заливе. Мы обнаружили полное противоречие между армейскими оценками эффективности системы «Патриот» во всех столкновениях и оценками, базирующимися на видеозаписях. Мы детально проанализировали все технические возражения, выдвигавшиеся против анализа видеозаписей, и обнаружили, что эти возражения в основном несостоятельны. Мы пришли к выводу, что видеозаписи содержат важную информацию об эффективности системы «Патриот» в войне в Персидском заливе, и что Армия США должна использовать эту информацию в своих исследованиях функционирования системы «Патриот». Мы сформулировали три главных вывода из обсуждений системы «Патриот», которые, вероятно, будут применимы к будущим конфликтам, в которых системы высокотехнологического оружия будут впервые использоваться в боевых условиях. Наше исследование не относится к другим американским системам противоракетной обороны для театра военных действий, таким, как «Патриот» PAC-3/ERINT, или THAAD.

Джереми Д. Салливан работает в программе по контролю над вооружениями, разоружению и международной безопасности на физическом факультете университета штата Иллинойс в Урбана-Шампейн, штат Иллинойс, США.

Дэн Фенстермахер в настоящее время работает в Агентстве США по контролю над вооружениями и разоружению.

Дэниэл Фишер работает на физическом факультете Гарвардского университета.

Рут Хоуэс работает на физико-астрономическом факультете университета Болл-Стэйт.

О'Дин Джадд является сотрудником национальной лаборатории в Лос-Аламосе.

Роджер Спид работает по программе нераспространения, контроля над вооружениями и международной безопасности в Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса.

Высказанные мнения принадлежат только авторам и не обязательно отражают позиции институтов или агентств, в которых они работают.

ВВЕДЕНИЕ

Использование системы «Патриот» в войне в Персидском заливе в 1991 году - самое первое применение системы противоракетной обороны в реальных боевых действиях - вызвало исключительное внимание. Выпуски телевизионных новостей донесли впечатляющие видеозаписи столкновений ракет «Патриот» и «Скад» до международной аудитории. Комментарии этих изображений в новостях в основном подтверждали официальные заявления об эффективности, близкой к идеальной. В результате этого возобновился интерес к противоракетной обороне и возросли опасения общественности по вопросу распространения баллистических ракет.

Приблизительно 80 из всех запущенных Ираком во время войны в Персидском заливе ракет «Скад» («Эль-Хусейн») действовали достаточно хорошо, чтобы приземлиться в Израиле и Саудовской Аравии, или рядом с ними. Система «Патриот» противодействовала

примерно 44 из них¹. На жаргоне Министерства обороны США слово «столкновение» означает запуск одной или более ракет «Патриот» против приближающейся ракеты, независимо от его успеха, или же столкновение заключается в одной или более попытках перехвата. Опубликованная информация показывает, что 16 столкновений произошло над Израилем, и 28 столкновений произошло над Саудовской Аравией. Точные цифры остаются засекреченными.

После войны официальная армейская статистика эффективности действия системы «Патриот» поэтапно понижала свои оценки: в марте 1991 года общая вероятность успеха составляла 96%; в мае 1991 года - 69%; и в апреле 1992 года - 59%. Последняя цифра продолжает оставаться официальной позицией Министерства обороны США для общей эффективности системы «Патриот»².

Кроме того, после войны в Пентагоне начали подниматься серьезные вопросы о реальных достижениях системы «Патриот». Зимой 1991-1992 г.г. начались серьезные общественные обсуждения. Пытаясь разрешить растущие противоречия, комиссия палаты представителей по государственной деятельности (ПГДК) под председательством Джона Коньерса (демократ из штата Мичиган) провел слушания 7 апреля 1992 г.³. Результатом слушаний стало еще больший уровень непонимания, несогласия, и недоверия общества относительно того, что казалось многим простым вопросом или техническим фактом.

В ответ на незавершенные технические дебаты совет по связям с общественностью (ССО) Американского физического общества (АФО) собрал весной 1983 г. рабочую группу для анализа технических вопросов, лежавших в основе технических обсуждений «Патриота». В этой статье описано, чему научились члены рабочей группы из технических дебатов по системе «Патриот» во время своих исследований и из результатов последующих исследований конкретных технических вопросов. В Приложении А представлена краткая хронология деятельности рабочей группы.

Вся деятельность рабочей группы проходила на несекретном уровне. Это стало возможным благодаря нескольким факторам: 1) слушания ПГДК были открытыми; 2) обзоры исследований Армии США Главным финансовым управлением (ГФУ) и Исследовательской

¹ Точные цифры остаются засекреченными. По-видимому, число 44 является точным с погрешностью ± 2 , и то же самое относится к распределению по странам, приведенному ниже в этом абзаце. Неперехватываемые ракеты «Скад» либо были запущены до развертывания системы «Патриот», либо находились за пределами дальности любого действующего подразделения системы «Патриот», либо двигались по траекториям, не представляющим опасности, вне зависимости от того, находились ли они за пределами дальности любого действующего подразделения системы «Патриот», или нет. Ракета «Скад», попавшая в казармы в Дахране, также включена в число 44, хотя против нее и не было запущено перехватчика из-за ошибки в программном обеспечении (Армия США расценивает это событие как неудачу системы «Патриот»).

² Полную сводку официальных заявлений во время войны в Персидском заливе до марта 1992 года можно найти в Приложении 2 к докладу Hildreth, S.A., «Evaluation of U.S. Army Assessment of Patriot Antitactical Missile Effectiveness in the War Against Iraq», *Congressional Research Service Report* (April 7, 1992; перепечатано в работе из следующей ссылки). Происхождение приведенных процентных данных таково: первая была приведена в выступлении официального представителя Армии США 13 марта 1991 г. перед комиссией палаты представителей по ассигнованиям, где было сказано, что ракеты «Патриот» успешно перехватили 45 из 47 ракет «Скад», против которых были выпущены перехватчики. Вторая цифра была получена из комбинации из объявленных в мае 1991 г. Армией США эффективностей перехвата 80% в Саудовской Аравии и 50% в Израиле с соответствующим количеством в 28 и 16 ракет в этих двух странах. Третья цифра получена из объявленных в апреле 1992 г. Армией США эффективностей перехвата 70% в Саудовской Аравии и 40% в Израиле с приведенным выше количеством ракет «Скад».

³ «Performances of the Patriot Missile in the Gulf War», выдержка из слушаний от 7 апреля 1992 г. подкомитета по законодательству и национальной безопасности комитета по правительственной деятельности палаты представителей, U.S. Government Printing Office, (1993), 65-426, O-93-1, (ISBN: 0-16-04242-5). В последующих ссылках мы будем называть его «докладом ПГДК».

службой Конгресса (ИСК) были несекретными, хотя сами обзоры проводились с полным доступом к секретной базе данных и методологии исследований; 3) общие сведения об армейской методологии были открытыми; 4) все вопросы к официальным докладами Армии США по возможностям «Патриота» были основаны на несекретных данных; и 5) ни одно из официальных лиц или организаций, участвовавших в дебатах по «Патриоту», включая армию, не заявляло о том, что для объяснения сделанных ими выводов им нужна закрытая сессия.

Поскольку армейские исследования остаются секретными, в деятельности рабочей группы имеется асимметрия, которая нашла отражение и в этой статье. Рабочая группа рассмотрела все технические аспекты армейских исследований, которые находятся в открытом секторе, так же как и все технические аспекты наиболее разработанных возражений выводам Армии. Однако, рабочая группа не проводила независимого исследования функционирования «Патриота» в войне в Персидском заливе. Когда (и если) будут рассекречены дальнейшие подробности армейского анализа, например, оценки армии по отдельным перехватам ракет «Скад», можно будет провести полезную дополнительную работу и провести более подробные сравнения.

Системы наземного управления «Патриотом», применяемые в войне в Персидском заливе, не постоянно использовали устройства для записи данных, по-видимому, из опасения, что такие устройства могут вызвать неполадки в системе. Поэтому непрерывные записи радиолокационной и системной информации во время перехватов, а также траекторных и эксплуатационных данных, необходимых для весьма подробного анализа перехватов «Скадов» «Патриотами», просто не существуют. (Многие радары ПВО используют встроенные магнитофоны как стандартное оборудование, но в случае «Патриота» этого не было.) В нескольких случаях израильтяне подсоединяли записывающие устройства к системам наземного управления во время боевых действий. Однако, это было только на последних стадиях войны и объем собранных данных был невелик. В Саудовской Аравии аналогичных записей не делалось. Несмотря на недостаток хороших технических данных, были затрачены большие усилия для определения эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе, поскольку этот опыт наиболее реален, и значительно превышает по объему все то, что могло быть получено во время испытаний на ракетном полигоне.

СИСТЕМА «ПАТРИОТ»

«Патриот» - это ракетная система «земля-воздух» Армии США, которую начали разрабатывать как систему ПВО в конце 70-х г.г.; она впервые была развернута в 1982 г⁴⁴. В конце 80-х г.г. система была модифицирована для получения возможности перехвата баллистических ракет ближнего радиуса действия. Эта первая модификация, названная PAC-1 (Использование «Патриота» против тактических ракет), заключалась в изменении программного обеспечения для радара наведения, которое дает возможность одновременно следить за несколькими баллистическими ракетами ближнего радиуса действия, и перехватывать их. Следующая, вторая модификация (PAC-2) дала ракетной боеголовке новый взрыватель и более тяжелые осколки для улучшения поражающей способности против баллистических ракет. Во время вторжения Ирака в Кувейт в августе 1990 г. в распоряжении США находилось всего несколько ракет PAC-2. В ответ на это резко возросло производство PAC-2 (три круглосуточных смены, семидневная рабочая неделя) для удовлетворения ожидаемых потребностей надвигающейся войны.

Использованная в войне в Персидском заливе ракета-перехватчик «Патриот» разгоняется одноступенчатым твердотопливным ракетным двигателем до конечной скорости 5 М (1,5 км/сек) через 12 секунд после запуска. Длина перехватчика равна 5,33 м, вес равен 1000 кг, а дальность приблизительно равна 60 км. Ракета вооружена боеголовкой с 45 кг 50-граммовой шрапнели, разгоняемой 40 кг взрывчатого вещества и подрывается взрывателем с автономным радаром.

Батарея ракет «Патриот», базовое подразделение системы, состоит из наземного радара С-диапазона с фазированной решеткой, используемого и для разведки, и для сле-

⁴ Краткий обзор системы «Патриот» и ее история представлены в первой части статьи Stein, R.M., «Patriot Experience in the Gulf War», *International Security*, Vol. 17, No. 1, (1992), pp. 199-225.

жения, наземной станции управления для командования и контроля ракет-перехватчиков, и восьми пусковых установок. Каждая установка содержит четыре ракеты-перехватчика PAC-2.

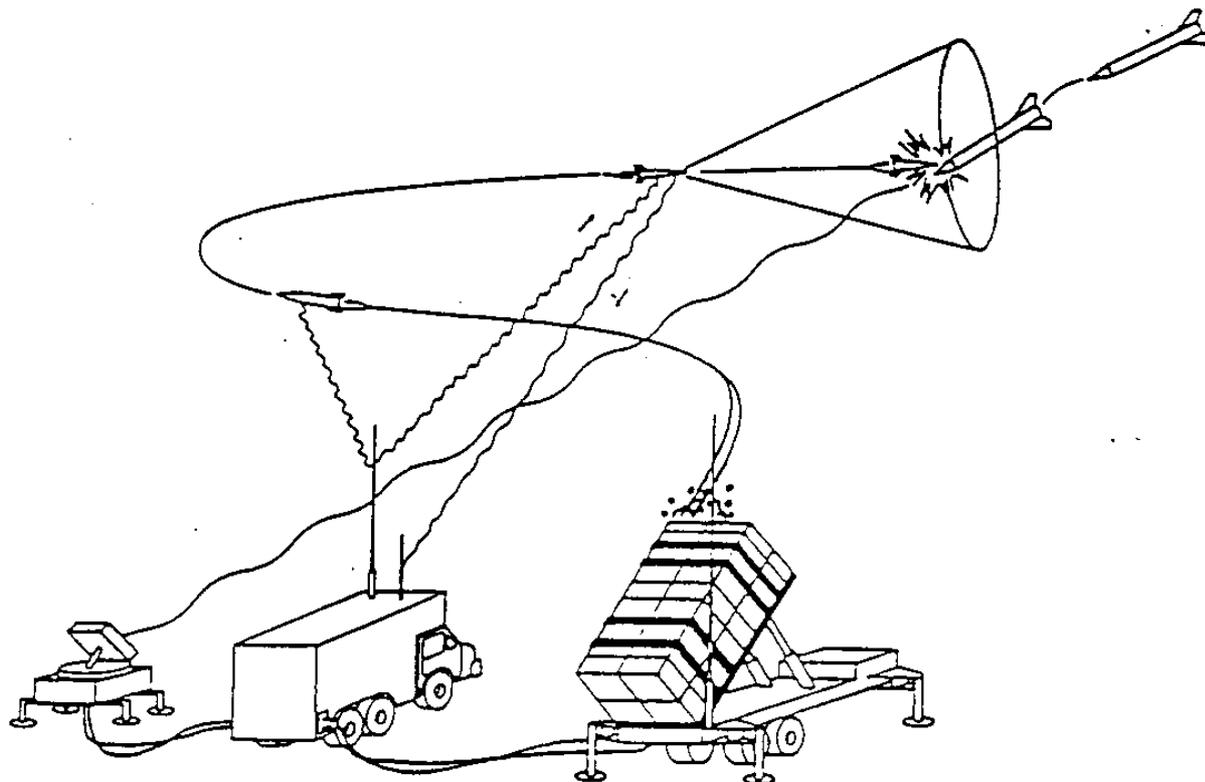


Рисунок 1. Схема системы противоракетной обороны «Патриот-PAC-2», применявшейся в войне в Персидском заливе. Каждая батарея ракет «Патриот» состоит из радара С-диапазона с фазированной решеткой, используемого для слежения как за приближающимися ракетами («Скад»), так и за удаляющимися перехватчиками «Патриот», наземной станции управления, которая обрабатывает возвратные сигналы от ракет «Скад» и перехватчиков «Патриот», и рассчитывает коррекцию траектории, которая передается на перехватчик, и восьми пусковых установок (показана только одна), каждая из которых несет четыре ракеты-перехватчика PAC-2. Отметим, что траектория перехватчика показана неправильно; на самом деле перехватчик летит до определенной точки и затем поворачивает и летит вдоль обратной траектории «Скад», делая попытку перехвата почти лобовой. (Рисунок любезно предоставлен Хилдретом и Цинсмайстером.)

Мозгом системы является компьютер управления оружием⁵, который выполняет основные функции системы по обнаружению приближающихся целей и слежению за ними, наведению ракет-перехватчиков на цели, и прочие функции управления боевыми действиями. В системе «Патриот» используется система управления со слежением через ракету, в которой и цель, и перехватчик, одновременно отслеживаются радаром «Патриота». Кроме того, сигналы радара, отражаемые от цели и принимаемые перехватчиком, передаются назад на наземную станцию управления через канал связи для обработки команд, которые затем по-

⁵ На стр. 4 документа «Patriot Missile Defense: Software Problem Led to the System Failure at Dhahran, Saudi Arabia», GAO/IMTEC-92, (February 26, 1992), указывается, что «Управляющий компьютер системы оружия «Патриот», использованный в операции «Буря в пустыне», основан на разработках 70-х г.г. и обладает довольно ограниченными возможностями при проведении вычислений высокой точности.» Фраза «довольно ограниченными возможностями» не сопровождается количественными параметрами.

сылаются назад на перехватчик для направления его на ракету. Основная стратегия системы заключается в том, чтобы направить перехватчик «Патриот» на обратную траекторию приближающейся ракетной цели. Если все идет нормально, то перехватчик «Патриот» в конце концов захватывает свою цель при помощи автономного радара взрывателя, и, в оптимальный момент, определяемый электроникой перехватчика, боеголовка «Патриота» подрывается. В качестве меры безопасности перехватчик «Патриота», который не успевает захватить цель своим радаром за время, отведенное для перехвата, автоматически подрывается после заданной задержки.

РАКЕТА «ЭЛЬ-ХУСЕЙН»

Ракета «Эль-Хусейн», применявшаяся Ираком в войне в Персидском заливе против Израиля и Саудовской Аравии, является модификацией советской ракеты «Скад-Б», одноступенчатой тактической ракеты среднего радиуса действия на жидком топливе (головная часть не отделяется). Стартовый вес стандартной ракеты «Скад-Б» равен 6000 кг, длина примерно равна 11 м, и она может доставлять боеголовку весом в 1000 кг на расстояние примерно в 300 км. Для увеличения дальности ракеты примерно до 600 км вес боеголовки снижается примерно до 300 кг, а длина топливных баков увеличивается, после чего общая длина ракеты достигла 12,2 м, а стартовый вес - 7000 кг⁶. В приложении Б приведена сводка параметров ракеты «Эль-Хусейн». Для простоты мы впоследствии будем называть «Эль-Хусейн» «Скадом».

Иракская модификация «Скад-Б» привела к созданию ракеты, которая обычно разваливается при входе в атмосферу, и секцию боеголовки (саму боеголовку и, возможно, прикрепленные к ней части корпуса ракеты) сопровождает поток обломков⁷. Разрушение ракеты определяется одним или более из следующих факторов: 1) скорость входа «Эль-Хусейна» существенно больше, чем у обычного «Скада-Б», и поэтому аэродинамические силы, действующие на модифицированную ракету, намного больше; 2) увеличение длины и облегчение боеголовки смещают центр тяжести ракеты назад, ухудшая ее аэродинамическую стабильность; и 3) «Эль-Хусейн» может входить в атмосферу с большим углом атаки (углом между осью симметрии ракеты и вектором скорости), и эта конфигурация приводит к высоким поперечным нагрузкам в конструкции ракеты при росте аэродинамических сил.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ПАТРИОТ»

До настоящего времени было проведено шесть технических анализов применения «Патриота» в войне в Персидском заливе, в которых делались систематические попытки собрать и обработать данные, относящиеся к общему функционированию системы в одной или в обеих странах, в которых они использовались. В четырех из них были проведены оценки общей вероятности успеха «Патриота». Из них два официальных исследования были проведены Армией США, третье исследование было сделано силами обороны Израиля (там могли быть проведены и дополнительные исследования), и четвертое исследование было проведено двумя учеными из Массачусетского технологического института, использовавшими видеозаписи телевизионных агентств новостей с перехватами «Скадов» над Израилем и Саудовской Аравией во время войны. Два других исследования были посвящены соответственно наземным повреждениям и потерям в Израиле до и после применения «Патриота». Все прочие комментарии по общей эффективности применения «Патриота» в войне в Персидском заливе, а они довольно многочисленны, сводятся к анализу этих исследований, обзорам или критике одного или более из шести анализов, или обсуждениям вопросов, отличных от эффективности «Патриота».

Два официальных армейских анализа эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе были проведены после войны управлением программы «Патриот» с техниче-

⁶ Все эти значения приблизительны. Во многих случаях значения, приводящиеся в открытой печати, различаются на $\pm 20\%$.

⁷ Мы не знаем, разваливалась ли каждая ракета «Скад». Похоже, что большая часть из них разваливалась. На видеозаписях нет свидетельств того, что целая ракета «Скад» достигала поверхности.

ской поддержкой компании «Рейтеон», генеральным подрядчиком системы «Патриот»^{8,9}. Официальная оценка перехватов «Скадов» «Патриотами» делалась в этих исследованиях группами представителей Армии. Исследования базировались на имеющихся технических данных с наземных станций управления вместе с результатами инспекций воронок от падения «Скадов». Результаты первого армейского исследования были опубликованы в декабре 1991 г.¹⁰ Результаты второго армейского исследования были опубликованы на слушаниях ПГДК в апреле 1992 г. Данные и отчеты, связанные с обеими исследованиями, до сих пор остаются секретными.

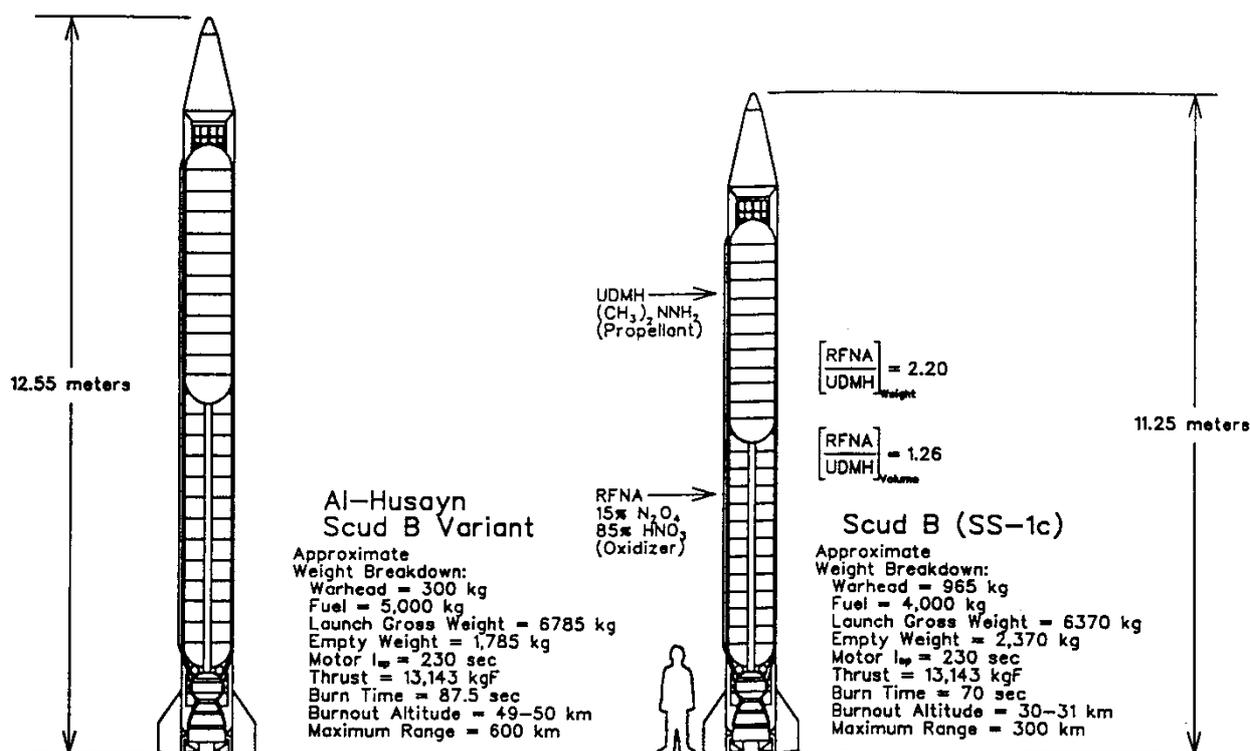


Рисунок 2. Сравнение ракеты «Скад-Б» советской разработки и ракеты «Эль-Хусейн» иракской разработки, дальность которой примерно вдвое больше. Большая дальность достигается за счет снижения веса боеголовки со взрывчатким веществом примерно на две трети, и за счет удлинения баков с горючим (несимметричным диметилгидразином) и окислителем (85% красной дымящей азотной кислоты и 15% двуокиси азота) на 20 процентов. Отношение веса окислителя и горючего равно 2,20, а объема - 1,25. (Рисунок любезно предоставлен Постолом и Льюисом). Сравнительная сводка параметров приведена в таблице.

Во время войны в Персидском заливе израильтяне провели экспресс-исследования в попытке понять эффективность «Патриота» и сократить расход перехватчиков на не очень опасные обломки от развала «Скадов». Правительство Израиля до сих пор не опубликовало официально никакой информации о своих исследованиях эффективности «Патриота» во

⁸ «An Army Assessment of Patriot's Performance in Desert Storm», (1991; секретно). Точное название неизвестно. В дальнейшем мы будем ссылаться на него как на «первое армейское исследование».

⁹ «An Army Assessment of Patriot's Performance in Desert Storm», (1992; секретно). Точное название неизвестно. В дальнейшем мы будем ссылаться на него как на «второе армейское исследование».

¹⁰ «PEO Responds in Patriot Criticism», *Inside the Army*, (Dec.9, 1991).

время войны в Персидском заливе. Однако, с течением времени некоторая информация о выводах этих исследований стала доступна общественности.

Таблица. Технические характеристики ракет «Эль-Хусейн» и «Скад-Б».

Параметр	«Эль-Хусейн»	«Скад-Б»
Длина, м	12,55	11,25
Вес боеголовки, кг	300	965
Вес топлива, кг	5000	4000
Стартовый вес, кг	6785	6370
Сухой вес, кг	1785	2370
Удельный импульс, сек	230	230
Тяга, кг	13143	13143
Длительность работы, сек	87,5	70
Высота отсечки, км	45 - 50	30 - 31
Максимальная дальность, км	600	300

Израильский военный журналист (и бывший летчик ВВС Израиля) Рейбен Педатцур выступал в 1992 г. на слушаниях ПГДК с тем, что ему стало известно из интервью с официальными лицами Израиля о сборе и анализе данных об эффективности «Патриота» во время войны¹¹. В этом выступлении и последующей статье в журнале¹², Педатцур сообщил о том, что израильские исследования не позволили найти информации об успехах «Патриота» - не более одного или двух поражений боеголовок. Через полтора года, в 1993 г., Моше Аренс, бывший министр обороны Израиля, и генерал Дан Шомрон, начальник штаба сил обороны Израиля во время войны, заявили в интервью, проводившемся Педатцуром на израильском телевидении¹³, что «Патриот» успешно перехватил над Израилем по крайней мере один «Скад». Позднее, в программе ПБС «Фронтлайн» в январе 1996 г. Аренс повторил аналогичное заявление о результатах израильских исследований¹⁴. Сейчас стало ясно, что во время войны между израильскими военными и политическими деятелями и их американскими коллегами имелись серьезные разногласия по поводу эффективности «Патриота»¹⁵.

Рабочая группа обращала особое внимание на армейские исследования и на изучение коммерческих видеозаписей. Далее в этой статье мы подробно рассмотрим каждое из них. Рабочая группа не изучала в деталях два исследования по потерям и разрушениям в Израиле, поскольку анализ на основе видеозаписей представляется более глубоким, и потому что он стал наиболее противоречивым элементом дебатов о «Патриоте». Однако, для полноты мы обсудим вкратце два исследования по потерям и наземным разрушениям в Израиле, Исторически, первое из них стало катализатором общественных обсуждений эффективности «Патриота».

ПОТЕРИ И РАЗРУШЕНИЯ В ИЗРАИЛЕ

На основе несекретных данных о потерях и разрушениях в Израиле, опубликованных Израильской прессой, Теодор Постол, физик и профессор Массачусетского технологического института по научно-технической политике, опубликовал статью в зимнем выпуске

¹¹ Pedatzur, R., «The Israeli Experience Operating Patriot During the Gulf War», выступление и подготовленное заявление, доклад ПГДК, (1992), стр. 118-130.

¹² Pedatzur, R., «Evolving Ballistic Missiles Capabilities and Theater Missile Defense: The Israeli Predicament», *Security Studies*, No. 3, (1994), pp. 521-570.

¹³ Pedatzur, R., Israeli TV Documentary, (21 Nov. 1993). Выдержки из этих интервью имеются в Tim Wisner, *New York Times*, (21 Nov. 1993) и *Newsweek*, (Nov. 1993).

¹⁴ Public Broadcasting System, «Frontline», телевизионная документальная серия о войне в Персидском заливе, 8 - 10 января 1996 г.

¹⁵ Atkinson, R., *Crusade: The Untold History of the Persian Gulf War*, (Houghton-Muffin Co., Boston - New York, 1993), pp. 277-281.

1991/1992 г.г. журнала «Международная безопасность»¹⁶, в которой он утверждал, что успех «Патриота» должен быть существенно меньше, чем это следует из официальных докладов. В частности, он отмечал, что наземные разрушения в Израиле были больше после применения «Патриота», чем до него, и хотя это различие статистически несущественно, оно не согласуется с тогдашними утверждениями Армии о 96%-ом успехе. Хотя большая часть его статьи была посвящена сделанным другими авторами заявлениям о связи с программой стратегической оборонной инициативы, выводы Постола об эффективности «Патриота» вызвали бурю протестов. Роберт Стейн, инженер по системе из компании «Рейтеон», опубликовал возражение в следующем номере журнала¹⁷, сопровождавшееся ответом Постола. Выводы Постола критиковались и в других работах¹⁸. Позднее более подробное исследование¹⁹ разрушений в Израиле было проведено группой трех физиков: Стива Феттера (Мэрилендский университет), Джорджа Льюиса (Массачусетский технологический институт) и Лисбет Гронлунд (Союз обеспокоенных ученых), результаты которого подтвердили ранние выводы Постола.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ АРМЕЙСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Два армейских исследования тесно связаны, поскольку в них использовались аналогичные базы данных и поскольку они делались в одной и той же организации. Первый отчет был официально отозван после того, как появился второй, но, тем не менее, полезно обсудить его, потому что несекретные обзоры первого исследования существенно проясняют его характер и качество данных, использованных армией в обеих исследованиях. Перед дальнейшим обсуждением полезно напомнить о различии между попыткой перехвата и боевым столкновением. Попытка перехвата относится к взаимодействию одного перехватчика «Патриот» со «Скадом», а боевое столкновение относится к совокупности всех попыток перехвата данной ракеты «Скад».

База данных падений и подразделений «Патриотов»

Как отмечалось ранее, отсутствие записывающих устройств на наземных станциях управления «Патриотами», означают, что записи «файлов слежения» радаров, состояния системы, и другой связанной информации, во время войны в Персидском заливе производились нерегулярно. Единственным способом, которым операторы стандартных станций управления «Патриотами» в Саудовской Аравии и Израиле могли сохранить техническую информацию о столкновениях только ручной подачей запроса на распечатку некоторых данных о слежении и функционировании системы нажатием кнопки на панели управления. Это делалось не всегда, но даже когда это происходило, результат был далек от непрерывных записей. В нескольких случаях в Саудовской Аравии и Израиле внутри наземных станций управления «Патриотами» были установлены видеокамеры для записи того, что показывается на панелях управления и экранах. Вся совокупность технических данных, собранных на наземных станциях управления «Патриотами» во время войны, вместе с отчетами операторов и подразделений составляют первую часть использованной армией базы данных.

Вторая часть армейской базы данных состоит из данных по падениям, в основном полученных при инспекциях воронок от падения и обломков ракет «Скад», найденных в этих воронках и рядом с ними. За сбор данных о падениях в Саудовской Аравии во время войны

¹⁶ Postol, T.A., «Lessons of the Gulf War Experience with Patriot», *International Security*, (1992), Vol. 16, No. 3, pp. 119-171.

¹⁷ Stein, R.M., «Patriot Experience in the Gulf War», *International Security*, Vol. 17, No. 1, (1992), pp. 199-225; Postol, T.A., «The Author Replies», *ibid*, pp. 225-240.

¹⁸ Zimmerman, P.D., «Testimony before the House Government Affairs Committee and National Security Subcommittee», выступление и подготовленное заявление, доклад ПГДК, (1992), стр. 149-176; Zracket, C.A., «Testimony of Charles A. Zracket», *ibid*, стр. 177-186.

¹⁹ Fetter, S., G.N. Lewis, and L. Gronlund, «Why were Scud Casualties so Low?», *Nature*, (1993), pp. 361, 293-296. Более подробный отчет тех же авторов представлен в работе «Casualties and Damage from Scud Attacks in the 1991 Gulf War», DACS Working Paper, MIT Defense and Arms Control Studies Program, (March 1993).

отвечали местные армейские подразделения под руководством и во взаимодействии с арабами. Эти поиски производились нерегулярно. Ограниченные исследования примерно одной трети столкновений в Саудовской Аравии были сделаны одним инженером из баллистической исследовательской лаборатории Армии США через дни и недели после падений, когда воронки уже были заполнены, а обломки ракет удалены²⁰. База данных наземных разрушений, доступная израильским официальным лицам, как сообщают, является значительно более полной, чем в Саудовской Аравии, благодаря тому, что израильтяне проводили быстрые и систематические исследования после каждой атаки «Скадов», чему, несомненно, помогал в основном городской характер района Тель-Авива. (Мы не знаем, использовались ли израильские данные в армейских исследованиях.) В обзорах, сделанных аналитиками из ГФУ²¹ и ИСК²², сообщается, что используемые армией данные о падениях далеки от полных, и во многих случаях трудно интерпретируемы. В последующем мы будем называть весь набор данных о наземных разрушениях при падениях и технические данные всех типов о боевых столкновениях, собранные во время войны с подразделений «Патриотов», базой данных падений и подразделений «Патриотов».

Два армейских исследования

Первый армейский анализ эффективности «Патриота» был закончен в мае 1991 г., а в его результатах, опубликованных в декабре того же года, отмечался успех «в более чем 80% случаев» в Саудовской Аравии и «в 50% случаев» в Израиле²³. Это секретное исследование позднее было детально рассмотрено аналитиками ГФУ и ИСК. Представители этих организаций рассказали о своих результатах на слушаниях ПГДК в 1992 г.^{21,22} Аналитики ГФУ и ИСК обращали основное внимание на методологию исследований и использованных армией данных, но не делали попытки пересмотреть базу данных падений и подразделений «Патриотов». Оба анализа конгресса выявили серьезные проблемы в первом армейском исследовании. Нет сомнений в том, что критика этих анализов повлияла на решение армии провести второе исследование.

Во втором армейском исследовании, которое началось в феврале 1992 г., использовалась альтернативная методология и модифицированная база данных, из которой были удалены некоторые записи, которые были отмечены ГФУ и ИСК как совершенно непригодные для анализа. Результаты нового исследования были впервые представлены армией публично на слушаниях ПГДК в апреле 1992 г.²³ Сообщалось, что вероятность успеха «Патриота» составляла «более чем 70%» в Саудовской Аравии и «более 40%» в Израиле²⁴. Доля успеха не включала оценок неопределенности, и неясно, что имелось в виду, если имелось вообще, под словом «более» в заявленных долях успеха. Эти доли успеха означали, что над Израилем было успешно перехвачено 6 «Скадов», а над Саудовской Аравией было успешно перехвачено 20 «Скадов», если использовать полные количества столкновений, при-

²⁰ Hinton, H.L., General Accounting Office, «Operation Desert Storm: Data Does Not Exist to Conclusively Say How Well Patriot Performed», GAO/NSIAD-92-340 (Sep. 1992). Перепечатано в докладе ПГДК, стр. 104 - 117, 1992.

²¹ Davis, E., United States General Accounting Office, «Operation Desert Storm: Project Manager's Assessment of Patriot's General Performance Is Not Supported», выступление и подготовленное заявление, доклад ПГДК, (1992), стр. 77-89. Подготовленное заявление доступно в виде отдельной публикации GAO/NSIAD-92-27 (April 7, 1992).

²² Hildreth, S.A., Congressional Research Service, «Evaluation of U.S. Army Assessment of Patriot Antitactical Missile Effectiveness in the War Against Iraq», выступление и подготовленное заявление, доклад ПГДК, (1992), стр. 12-76. Здесь обсуждается первое армейское исследование. В нем представлена также подробная история программы «Патриот» и официальные заявления, относящиеся к ее эффективности. Полезен также и более ранний документ: Hildreth, S.A., and P. C. Zinsmeister, Congressional Research Service, «The Patriot Air Defense System and the Search for an Antitactical Ballistic Missile Defense, CRS Report», (June 3, 1991).

²³ Garner, J.M., генерал-майор Армии США, «Statement of Major General Jay M. Garber», выступление и подготовленное заявление, доклад ПГДК, (1992), стр. 216-229.

²⁴ Второе армейское исследование было закончено как раз перед слушаниями ПГДК, и поэтому ни ГФУ, ни ИСК не могли комментировать его в этот момент.

веденные во введении. Эти результаты второго армейского исследования до сих пор остаются официальной позицией армии и Пентагона по военным успехам системы «Патриот». Армейские исследовательские отчеты, база данных и оценки столкновений с отдельными «Скадами» остаются секретными.

По армейской методологии во втором исследовании засчитывалось как успешное, если: 1) присутствовал атакуемый «Скад»; 2) по крайней мере один перехватчик «Патриот» был направлен в район точки перехвата; 3) отсутствовали указания на существенные наземные разрушения. Если выполнялось только условие (1), а оба условия (2) и (3), или одно из них не выполнялось, то столкновение засчитывалось как неудачное. Удачные столкновения разделялись на четыре категории: падающая боеголовка «Скада» была: а) уничтожена; б) выведена из строя; в) мощность ее взрыва была уменьшена до «малой» величины; г) боеголовка была обнаружена за пределами защищаемого района. Случаи (а) и (б) определялись армией как «поражение боеголовки», а случаи (в) и (г) - как «поражение миссии».

Во втором армейском исследовании среди 44 перехватываемых «Скадов» к поражениям миссии было отнесено четыре случая: два отклонения и два понижения мощности взрыва до низкой²⁵.

Величина отклонения в двух случаях столкновения с поражением миссии не были опубликованы, и не известно, как армия определяла отклонение на основании доступных данных. Столкновение с одним или несколькими фрагментами боеголовки «Патриота» массой 50 г с быстро движущейся боеголовкой «Скада» может привести только к незначительному отклонению, если учитывать только закон сохранения импульса; существенное отклонение может возникнуть только тогда, когда столкновение изменит аэродинамические характеристики секции боеголовки «Скада», или под действием ударной волны взрыва «Патриота». В заключение, кажется вполне определенным, что сложная траектория, по которой движется секция боеголовки «Скада» после ее развала должна ухудшить точность расчета предсказания точки встречи в система «Патриот».

Так же не известны публично природа и качество данных, поддерживающих вывод армии о том, что «Патриот» стал причиной понижения мощности взрыва в двух других столкновениях, засчитанных как поражения миссии.

Для того, чтобы определить качество данных, использованных для оценивания каждого события, армейские аналитики классифицировали свои данные по трем категориям: высокой, средней и низкой надежности. При оценке столкновения армейские аналитики использовали определенные нормативные правила при совместном использовании данных с разной степенью надежности. Во втором армейском исследовании оценивалась эффективность системы «Патриот» для каждого перехватываемого «Скада», независимо от качества доступных данных. Два исхода столкновений были оценены как «неизвестные».

После слушаний ПГДК ГФУ опубликовало в сентябре 1992 г. анализ второго армейского исследования²⁶, аналогичного доклада ИСК не было. В последнем анализе ГФУ особое внимание обращено на те столкновения, для которых армия определила высокую степень уверенности в разрушении боеголовок «Скада» или их выведении из строя: такие случаи составляют 25% от всех перехватываемых «Скадов» (около 11). Доклад ГФУ содержит несколько подчеркнутых заявлений. В нем цитируется заявление заместителя менеджера проекта «Патриот», утверждавшего, что «присвоение уровня высокой степени уверенности исходу столкновения не означает, что армия абсолютно уверена в том, что присваиваемая оценка правильна. Напротив, учитывая ограниченное количество используемых для оценки данных, армейские аналитики имеют большую уверенность в оцениваемом исходе этих столкновений, чем в исходе других.» Распределение оценок поражения между категориями средней и низкой уверенности во втором армейском исследовании публично недоступно.

²⁵ Garner, J.M., генерал-майор Армии США, письмо к John Conyers, Jr., в ответ на запрос дополнительной информации по функционированию системы «Патриот», представлено в докладе ПГДК, (1992), стр. 277-293.

²⁶ См. ссылку [20].

В отчете ГФУ утверждается, что только 4 случая из 11, оцененных армией как поражения боеголовок с высокой уверенностью, поддержаны «серьезными» доказательствами²⁷. ГФУ цитирует примеры того, что рассматривается армией как серьезные доказательства: извлечение секции боеголовки «Скада» с фрагментами «Патриота»; дыры в извлеченной боеголовке или в компонентах взрывателя или системы наведения; или радиолокационные данные, показывающие обломки «Скада» в воздухе после детонации «Патриота». Из открытых записей не ясно, были ли реальные фрагменты «Патриота» обнаружены в извлеченных боеголовках.

В отчете ГФУ указано, что другие 7 «Скадов», оцененных армией как поражения боеголовок с высокой эффективностью, не поддержаны «серьезными» доказательствами. Хотя для некоторых из этих последних столкновений имеются данные радиолокационного слежения, доказывающие, что перехватчик «Патриот» подошел близко к «Скаду», в докладе ГФУ подчеркивается, что нельзя использовать для доказательства уничтожения боеголовки «Скада» одни компьютерные данные, собранные в подразделениях «Патриота». Одним из источников недоразумений во время операций в Персидском заливе было то, что когда наземное подразделение преследовало получать сигналы от перехватчика в ожидаемый момент подрыва (детонации боеголовки «Патриота»), на панели оператора «Патриота» появлялся «символ подрыва». Однако, одно появление символа не указывает ни на близость цели, ни на то, что секция боеголовки «Скада» была видна на радаре взрывателя перехватчика «Патриота». В этой связи в отчете ГФУ отмечается: «Главный инженер управления программы «Патриот» сказал, что взрыватель «Патриота» может почувствовать цель и детонировать на расстоянии, в шесть раз большем требуемой дистанции промаха, что приведет к исключительно низкой вероятности поражения. Однако, система все равно запишет поражение.»

В отчете ГФУ утверждается также, что исследования наземных повреждений в Саудовской Аравии были недостаточно полными для того, чтобы определить общее количество боеголовок, пораженных «Патриотами». Очевидно, что такая ситуация привела к завышению представленной доли успеха «Патриота» из-за того, что армия рассматривает отсутствие наземных повреждений как доказательство успеха «Патриота».

АНАЛИЗ КОММЕРЧЕСКИХ ВИДЕОЗАПИСЕЙ ПОСТОЛОМ И ЛЬЮИСОМ

База данных коммерческих видеозаписей

В начале 1992 г. Теодор Постол и Джордж Льюис пришли к выводу, что коммерческие видеозаписи могут быть использованы для оценки успеха столкновений «Патриотов» и «Скадов» и попыток перехвата. (Мы будем называть записи такого рода «коммерческими видеозаписями».) После публичного представления выводов Постола и Льюиса они подверглись жестокой критике²⁸. С тех пор Постол и Льюис дополняли и усиливали свой анализ для ответа своим критикам. Наиболее полное изложение методологии Постола и Льюиса было представлено в их статье 1993 г. в журнале «Наука и всеобщая безопасность»²⁹. После этой публикации Постол и Льюис провели дополнительный анализ видеозаписей «Патриотов» и «Скадов» в войне в Персидском заливе и расширили круг своих выводов³⁰.

Наш обзор направлен в первую очередь на столкновения, описанные в статье 1993 г., и на критику этого анализа, после чего мы обсудим также последующий анализ дополни-

²⁷ В докладе ГФУ приведены проценты, а не реальный подсчет ракет «Скад». В частности, в докладе утверждается, что 25% всех перехватов ракет «Скад» рассматриваются армией как «уничтожение боеголовок с большой вероятностью». ГФУ разделяет их на 9% и 16%, причем 9% считаются как поражения с серьезными указаниями, а 16% как имеющие меньшую поддержку. Считая, что всего было 44 перехвата ракет «Скад», то пересчет приведет к 4 и 7 ракетам «Скад» соответственно.

²⁸ Postol, T.A., «Optical Evidence Indicating Patriot High Miss Rates During the War», выступление и подготовленное заявление, доклад ПГДК, (1992), стр. 131-145.

²⁹ Lewis, G.L., and T.A. Postol, «Video Evidence on the Effectiveness of Patriot during the 1991 Gulf War», *Science and Global Security*, Vol. 4, (1993), pp. 1-63.

³⁰ Постол и Льюис, частные сообщения авторов.

тельных столкновений Постолом и Льюисом. Технические вопросы, включенные в обе фазы работы Постолом-Льюиса, в точности одинаковы. Разница относится в первую очередь к полноте видеоданных и некоторым деталям их методики оценки в более поздней работе.

При проведении своего анализа Постол и Льюис собрали такой полный набор коммерческих видеозаписей, насколько это было возможно. Там где было можно, они использовали копии неотредактированных (необрезанных) лент. За исключением видеозаписи, представленной на американском телевидении, которая показывала изображения, сделанные инфракрасной камерой (скорее всего, в Израиле), все использованные в анализе изображения были получены на обычных видеокамерах (в видимой области спектра), которые, как правило, были ручными. Точные расположения камер и расстояния до столкновений были неизвестны, так же как и марки камер, их фокусные расстояния и установки. Во многих случаях Постол и Льюис могли использовать объекты на фоне и другие особенности изображения для определения положения камер - часто крыш гостиниц, в которых они жили. При помощи различных методов Постол и Льюис обнаружили, что в их коллекции видеозаписей имеются многочисленные случаи дубликатов съемки столкновений, снятых двумя или более камерами из различных положений. Для всех видеозаписей, кроме трех, они смогли точно определить наличие или отсутствие дубликатов. (Только два из этих трех случаев будут обсуждаться ниже).

Для удобства обсуждения мы разделим все столкновения, оцененные Постолом и Льюисом, на два класса. К классу А относятся столкновения, для которых имеются наиболее полные видеоданные: 29-32 попытки перехвата 15-17 «Скадов»³¹, что составляет 34-39% от всех столкновений во время войны. На видеозаписях этого класса на последовательности видеок кадров видны огненные шары и «Патриотов» и «Скадов». Для событий класса А Постол и Льюис оценивали отдельные попытки перехвата каждого «Скада» и исход столкновения в целом. Распределение столкновений по районам таково: Тель-Авив - 4; Эр-Рияд - 8; Дахран - 4 и неизвестный район - 1. Даты всех столкновений, за исключением последнего, известны. Анализ этих столкновений и его результаты были представлены Постолом и Льюисом в статье в журнале «Наука и всеобщая безопасность», вместе с полным анализом трех столкновений со «Скадами»^{32,33}. В таблице А, «Оценки перехватов Постолом-Льюиса: видеозаписи перехватов имеются», перечислены все столкновения класса А вместе с дополнительной информацией, которая будет обсуждаться ниже³⁴.

Столкновения класса Б в видеоанализе Постолом-Льюиса включают еще 12 «Скадов», для которых видеоданные менее полны. На таких видеозаписях нет совместных изображений огненных шаров «Патриотов» и «Скадов», и поэтому Постол и Льюис смогли сообщить только общие исходы столкновений. В таблице Б, «Оценки перехватов Постолом-Льюиса: видеозаписи перехватов не имеется», перечислены все столкновения класса Б вместе с до-

³¹ Интервалы 29-32 и 15-17 отражают возможность дубликата изображений для двух ракет «Скад» в табл. А.

³² Во время длительной подготовки этой статьи Постол и Льюис предоставили авторам дополнительные детали их метода и ответили на многочисленные вопросы о деталях всех аспектов их работы.

³³ В свою статью из *Science and Global Security*, «Video Evidence on the Effectiveness of Patriot during the 1991 Gulf War», Постол и Льюис включили один дополнительный перехват (положение и дата неизвестны), для которого видеозаписи показывают очевидно промазавшую попытку перехвата. Перехват засчитан как *возможная* ошибка. Мы исключили этот перехват из таблицы А из-за того, что видеозаписи не показывают исход исхода возможной второй попытки перехвата.

³⁴ Таблица А и последующая таблица Б подготовлены на основе исправленного варианта «Appendix A: Video Tape Summary», выпущенного Постолом и Льюисом 22 мая 1993 г. как обновление соответствующего приложения в их статье из *Science and Global Security*. Обновление включает дополнительные видеозаписи, полученные от CNN. Три ракеты «Скад» из первоначально списка статьи Льюиса и Постолом (Эр-Рияд, 22 января; Дахран, 20/21 января; неизвестные дата и место, 1) не были включены ни в табл.А, ни в табл.Б.

полнительной информацией³⁵. В обеих классах А и Б Постол и Льюис смогли оценить 27-29 из 44 перехватываемых «Скадов» (61-66%)³⁶.

Таблица А. Оценки перехватов Постола-Льюиса: видеозаписи перехватов имеются.

Скад	Место	Дата	ON ¹	Перехваты ²	TTG ³	Падение ⁴	Оценка ⁵	Примечания ⁶
A1	Тель-Авив	09.02	I	3 CM, 0 FO	Y	GF	F1, F2	EGD (видео и распечатка)
A2	Тель-Авив	11.02	I	4 CM, 0 FO	N	NA	F3	Других попыток перехвата не было
A3	Тель-Авив	12.02	I	1 CM, 0 FO	Y	GF	F1, F2	EGD (видео и распечатка)
A4	Тель-Авив	19.02	I	1 CM, 1 FO ^{&}	U	NGF	F7	Извлечена неисправная боеголовка
A5	Эр-Рияд	21.01	III	1 CM, 1 FO	N	NA	F6	Не было изменений в виде «Скада»
A6	Эр-Рияд	25.01	I	0 CM, 1 FO ^{&}	Y	GF	F5	Другой «Патриот»?
A7	Эр-Рияд	25.01	II	2 CM, 0 FO	Y	GF	F1, F2	EGD, разрушено здание, видео
A8	Эр-Рияд	26.01	I	1 CM, 1 FO	Y	GF	F5	
A9	Эр-Рияд	03.02	I	2 CM, 0 FO	Y	GF	F1, F2	EGD (видео)
A10	Эр-Рияд	08.02	I	2 CM, 0 FO	N	NA	F3	Других попыток перехвата не было; неисправность?
A11	Эр-Рияд	11.02	I	0 CM, 2 FO ^{&}	N	GF	F4, F5 ⁷	EGD, повреждена школа, видео
A12	Эр-Рияд	24.02	II	1 CM, 0 FO	N	NA	F3	Второй «Патриот» самоуничтожился
A13	Дахран	20.01	II	1 CM, 0 FO	N	NA	F3	Других попыток перехвата не было
A14	Дахран	20.01	III	0 CM, 1 FO	U	NGF	F6	Не было изменений в виде «Скада»
A15	Дахран	23.01	I	1 CM, 0 FO	Y	GF	F2	Еще один PFB за облаком и один PSD
A16	Дахран	26.01	I	3 CM, 0 FO	Y	GF	F2	Еще один PFB за облаком
A17 ^{#,?}	?	?	-	1 CM, 1 FO ^{&}	N	NA	F8	Изменение в виде «Скада»

[?] Возможный дубликат события.

[#] Инфракрасная видеозапись, показанная по коммерческому телевидению; возможно, израильского происхождения.

[&] Изменение внешнего вида на видеозаписи представляет указания о повреждении «Скада».

- ON - порядковый номер, I - первый «Скад», запущенный по городу в этот день, II - второй «Скад», и т. д.
- Классификация Постола-Льюиса наблюдавшихся событий перехвата: CM - явный промах, FO - перекрытие огненных шаров.
- TTG - слежение до поверхности, Y - да, N - нет, U - неопределенно (но отслеживается на большей части, если не на всей траектории до поверхности).
- GF - «Скад» отслеживался до удара о землю и была обнаружена наземная вспышка, отождествленная с взрывом боеголовки; NGF - «Скад» отслеживался до удара о землю, но наземной вспышки не было обнаружено; NA - видеозапись «Скада» в момент удара отсутствует.
- Обозначения авторов к оценкам Постола-Льюиса всего столкновения со «Скадом»: S - успех (боеголовка «Скада» разрушена или достоверно выведена из строя в результате действий «Патриота»; F - неудача; F1 - нет FO, есть EGD; F2 - нет FO, есть GF; F3 - нет FO, есть указания, что не было дополнительной попытки перехвата; F4 - есть FO и EGD; F5 - есть FO и GF; F6 - есть FO и нет изменений в облике «Скада» вдоль траектории; F7 - есть FO и извлечена неисправная боеголовка «Скада», но нет публично доступных указаний на то, что эта неисправность вызвана действиями «Патриота»; F8 - есть FO и есть изменения в облике «Скада» без изменений его траектории. Аббревиатуры: FO - перекрытие огненных шаров; GF - наземная вспышка.
- Комментарии, основанные на информации, представленной Постолом и Льюисом: PFB - огненный шар «Патриота», PSD – самоуничтожение «Патриота» (удар о землю или предварительная детонация), EGD - обширные наземные разрушения.
- Единственная имеющаяся видеозапись столкновения была обрезана между второй попыткой перехвата и наземной вспышкой, что не позволяет уверенно связать сегменты попытки перехвата и наземной вспышки с одним и тем же столкновением со «Скадом».

Методология видеоанализа

Мы начнем с обзора методологии Постола-Льюиса для событий класса А, выделив основные особенности.

Плоскость траектории определяется вектором скорости «Скада» и направлением силы тяжести (вектором, направленным к центру Земли). Плоскость траектории фиксирована в пространстве, если не учитывать спиральное движение боеголовки «Скада», вызванное асимметричным торможением, или влиянием импульса вне плоскости, приданного при попытке перехвата. Разрушение падающего «Скада» приводит к появлению многочисленных объектов, длинному потоку обломков и большой спутной струе. Постол и Льюис утверждают, что лидирующий видимый объект, выходящий из облака обломков, является секцией боеголовки «Скада». Они утверждают далее, что низкое торможение секции боеголовки обеспечивает ее наибольшую скорость по сравнению со всеми падающими объектами, образовавшимися при развале «Скада».

Постол и Льюис используют при анализе видеоизображений попыток перехвата в качестве пространственной метрики *длину видеоскачка (JDV)*, т.е. кажущееся расстояние пе-

³⁵ Для ракеты «Скад» Б5 из табл. Б Постол и Льюис не уверены в том, что точка падения находилась внутри защищаемой области.

³⁶ Интервал неопределенности 27-29 связан с наличием возможных дубликатов A14 и A17 в табл. А.

ремещения «Скада» (или его боеголовки) между последовательными видеокдрами, но не преобразуют эту метрику в реальное расстояние в метрах, за исключением целей иллюстрации или оценок по порядку величины. Длина видеоскачка является основным при их оценке попыток перехвата. Практически длина видеоскачка измерялась Постоном и Льюисом при помощи миллиметровой линейки прямо на стоп-кадрах на большом видеомониторе. Длительности экспозиции (затвора) видеоизображений были неизвестны. Коммерческие видеокамеры могут использовать как автоматическую установку экспозиции в зависимости от условий освещения, так и ручную установку, или обе сразу. Какова бы ни была ситуация с видеокамерами, использованными для съемки видеонюостей на войне в Персидском заливе, отсутствие полошения показывает, что изображение «Скада» не смещалось на много пикселей во время экспозиции и поэтому скорость затвора (в отличие от частоты кадров) не является критическим вопросом.

Если видеокамера не наблюдает движение «Скада» под прямым углом, то длина видеоскачка *меньше*, чем *истинная длина скачка (JDT)*, в соответствии с $JDV = JDT \cdot \sin \alpha$, где α - угол между осью объектива видеокамеры и вектором скорости «Скада». Для того, чтобы почувствовать реальную длину скачка, рассмотрим высоту перехвата в 10-12 км, на которой скорость «Скада» обычно равна 2,0 км/сек. Поэтому при ортогональной плоскости кадра $JDV = JDT = 70$ метрам при частоте кадров видеокамеры в 30 кадров в секунду. На много меньшей высоте, например, в 3 км, длина скачка для ортогональной плоскости кадра примерно равна 33 м из-за уменьшения скорости боеголовки из-за торможения в атмосфере. Когда угол α приближается к нулю, то длина видеоскачка приближается к нулю, но такого не наблюдалось ни на одной из видеозаписей войны в Персидском заливе. Если такое произойдет, то проявления этого будут однозначными. *Основное положение: длина видеоскачка устанавливает масштаб пространственного разрешения, достижимого при помощи видеоданных.*

Таблица Б. Оценки перехватов Постола-Льюиса: видеозаписи перехватов не имеются*.

Скад ¹	Место	Дата	ON ²	TTG ³	Падение ⁴	Оценка ⁵	Примечание ⁶
Б1	Тель-Авив	22.01	I	N	NA	F9	Видно 2 PL; «Скад» не виден; EGD (видео).
Б2	Тель-Авив	25.01	I	Y	GF	F10	Видно X PL ⁷ ; «Скад» виден ⁸ .
Б3	Тель-Авив	25.01	II	Y	GF	F10	Видно X PL ⁷ ; «Скад» виден ⁸ .
Б4	Тель-Авив	25.01	III	N	GF	F10	Видно 3 PL; «Скад» не виден ⁹ .
Б5	Тель-Авив	25.01	IV	N	GF	O1	Видно 3 PL; «Скад» не виден ⁹ .
Б6	Тель-Авив	26.01	I	Y	GF	F10	Видно 2 PL; «Скад» виден после спуска ниже облаков.
Б7	Хайфа	23.01	I	N	GF	F10	Видно 4 PL ¹⁰ ; «Скад» не виден; GF (вдали).
Б8	Эр-Рияд	21.01	I	Y	GF	F10	P не видно; «Скад» виден только в конце полета.
Б9	Эр-Рияд	21.01	II	Y	GF	F10	Видно 2 P; «Скад» виден; 1 PFB ниже облаков; 1 PSD.
Б10	Эр-Рияд	28.01	I	N	NA	F11	Видно 2 PL; «Скад» виден вначале, затем пропал в облаках.
Б11	Эр-Рияд	24.02	I	N	NA	F9	Видно 2 PFB; «Скад» виден в конце; EGD (школа).
Б12	Дахран	25.02	I	Y	GF	F9, F10	P не запущен; «Скад» виден; EGD (казармы США).

* Ракеты «Скад» Б1, Б4, Б5, Б7 и Б10 составляют дополнение к списку ракет в Приложении к статье Постола и Льюиса в журнале *Science and Global Security*.

«Скады» могли находиться вне пределов защищаемой области.

1. На этих видеозаписях не было видно огненных шаров «Патриота».
2. ON - порядковый номер, I - первый «Скад», запущенный по городу в этот день, II - второй «Скад», и т. д.
3. TTG - слежение до поверхности, Y - да, N - нет, U - неопределенно (но отслеживается на большей части, если не на всей траектории до поверхности).
4. NA - на видеозаписях нет перекрытия с ударами о землю; GF - наземная вспышка.
5. Обозначения авторов к оценкам Постола-Льюиса всего столкновения со «Скадом»: S - успех (боеголовка «Скада» разрушена или достоверно выведена из строя в результате действий «Патриота»); F - неудача; F9 - есть EGD; F10 - есть GF; F11 - «Скад» наблюдался на низких высотах, без «Патриотов» в пределах дальности перехвата; O - прочие, где O1 - наблюдается GF, но неизвестно, произошел ли удар о землю в защищаемой области.
6. P - перехватчик «Патриот», PL - запуск «Патриота», PFB - огненный шар «Патриота», PSD - самоуничтожение «Патриота» (удар о землю или предварительная детонация), GF - наземная вспышка, EGD - обширные наземные разрушения.
7. Количество «Патриотов», связанное с этим столкновением, не может быть определено подсчитано из имеющихся видеозаписей.
8. Столкновения Б2 и Б3 наблюдались на одной и той же видеозаписи.
9. Столкновения Б4 и Б5 наблюдались на одной и той же видеозаписи.
10. Может быть, было запущено больше перехватчиков «Патриот», то точное число не может быть определено из имеющихся данных.

В ночное время ракета-перехватчик «Патриот» после выключения двигателей становится невидимой (за исключением изображений, полученных в инфракрасном диапазоне), но ее положение в момент детонации боеголовки ясно проявляется на видеокдрах в виде яркой области, если только его не скрывают облака. Появляющийся «огненный шар»³⁷ «Патриота» виден на многих кадрах (10 - 15) и он очевидно *фиксирован* в пространстве, потому что горячие расширяющиеся газы быстро замедляются атмосферой. Огненный шар представляет собой опорную точку, которая использовалась Постолом и Льюисом для корректировки движения камеры.

Видимые размеры огненных шаров «Патриота», наблюдаемых на видеокдрах (поперечные размеры в интервале от 50 до 400 м) намного больше радиуса поражения перехватчика «Патриота» (5 - 10 м), который был установлен в контролируемых условиях. Простая модель на базе стандартной феноменологии предсказывает радиус огненного шара порядка радиуса поражения перехватчика «Патриота». Дневные фотографии испытаний «Патриота» также показывают много меньший радиус огненного шара, чем на изображениях войны в Персидском заливе³⁸. В дополнение к необычно большим размерам, часто огненные шары «Патриотов» на видеозаписях войны в Персидском заливе имеют некруглую форму. Однозначного объяснения различия между реальными и видимыми на видео размерами огненных шаров дано не было. Возможными причинами могут быть атмосферные эффекты, внутреннее рассеяние в оптической системе камеры, насыщение в фокальной плоскости, или их комбинация.

Реальные размеры огненных шаров на видеоизображениях не играют значительной роли в анализе Постола-Льюиса, *если только радиусы огненных шаров на видеокдрах велики* по сравнению с радиусом поражения перехватчика «Патриота». При этих условиях асферичность огненных шаров на видеокдрах и расположение облака фрагментов «Патриота» внутри огненного шара несущественно. Вскоре это станет ясно.

Постол и Льюис присвоили каждой попытке перехвата «Патриота» одну из двух категорий: 1) перекрытие огненных шаров (потенциальное поражение; и 2) явный промах. Они делали это при помощи следующей процедуры. Во-первых, они смотрели на последовательные кадры видеозаписей после того, на котором впервые появился огненный шар «Патриота», для того, чтобы получить хорошую оценку длину скачка для этого события, исключая движение камеры так, как это было описано ранее. После этого они возвращались к кадру, на котором впервые появился огненный шар «Патриота», который мы назовем кадром 1. Если боеголовка «Скада» перекрывается огненным шаром «Патриота» на кадре 1, то событие классифицируется как «перекрытие огненных шаров». Для этих событий *Постол и Льюис не делали оценки расстояния промаха*.

Для всех прочих событий Постол и Льюис вводили кажущееся «расстояние промаха», проводя прямую линию на кадре 1 от секции боеголовки «Скада» до центроида огненного шара, и они измеряли эту длину в единицах длины видеоскачка. Мы будем называть длину этой линии расстоянием промаха Постола-Льюиса (*MDPL*). Как соотносится (*MDPL*) с реальным трехмерным расстоянием промаха? Для ответа на этот вопрос рассмотрим попытку перехвата в трех измерениях. Случай, в котором огненный шар «Патриота» пересекает траекторию «Скада» перед положением «Скада» на кадре 1, иллюстрируется рис. 3а. (Рассматривая рисунки 3а, 3б, 3в, помните, что для удобства представления размеры огненных шаров «Патриота» преуменьшены. В масштабе, используемом для длин скачка, размеры огненных шаров были бы больше раз в десять.)

При оценке полезности расстояния промаха Постола-Льюиса следует учитывать два фактора: 1) угол зрения камеры, и 2) расстояние, которое пролетает «Скад» между моментом (неизвестным) подрыва перехватчика «Патриота» и моментом открытия затвора для съемки кадра 1.

Сначала мы определим «истинное расстояние промаха Постола-Льюиса» (*MDPLT*)

³⁷ Мы говорим об ярких областях, видимых на видеозаписях после подрывов перехватчиков «Патриот», как об «огненных шарах на видео», чтобы отличить их от реальных огненных шаров, размеры которых намного меньше.

³⁸ Несекретная фотография была сделана во время испытаний на ракетном полигоне «Уайт-Сэндз» при перехвате ракеты «Лэнс» «Патриотом» PAC-2. Используя ракету как масштаб, можно оценить диаметр огненного шара как 25 метров.

как длину трехмерного вектора, соединяющего центр тяжести огненного шара «Патриота» с положением «Скада» на кадре 1. Из-за приблизительно коллинеарной (лобовой) геометрии столкновения «Патриота» и «Скада» вектор $MDPL$ будет ориентирован приблизительно параллельно траектории «Скада», когда перехватчик будет лететь по анти-траектории, как это показано на рисунке. Проекция вектора $MDPL$ на плоскость, перпендикулярную оси камеры, является расстоянием промаха Постола-Льюиса. Следовательно, $MDPL = MDPLT \cdot \sin \alpha$, как это показано на вставке на рис. 3а. Рассмотрим теперь влияние движения «Скада» в промежутках между последующими кадрами.

В геометрии, иллюстрируемой рис. 3а, огненный шар «Патриота» появляется перед положением «Скада» на кадре 1 (сплошной квадрат на рисунке). Истинное расстояние промаха (MDT) - это длина линии, проведенной от центра тяжести огненного шара «Патриота» к положению боеголовки «Скада», обозначенной на рисунке как X , в момент подрыва перехватчика «Патриота» (который произошел между кадрами 0 и 1). Показанное на рисунке расстояние $xJDT$ является расстоянием, которое проходит «Скад» между моментом подрыва «Патриота» и моментом съемки кадра 1. Значение параметра x не может быть получено из видеозаписи, поскольку нет способа определить, момент подрыва «Патриота» между кадрами 0 и 1, но условие $0 \leq x \leq 1$ истинно. Из рис. 3а мы можем записать:

$$MDT = MDPLT + xJDT = JDT(N + x) \quad (1)$$

где на последнем шаге $N = MDPLT/JDT$ используется как мера истинного расстояния промаха в единицах истинной длины скачка JDT . Мера N не обязана быть целой. Мы можем переписать правую часть уравнения (1) в терминах наблюдаемой длины видеоскачка и использовать условие $\sin \alpha \leq 1$ для получения полезного верхнего предела для истинного расстояния промаха:

$$MDT = JDT(N + x) = \frac{JDV}{\sin \alpha}(N + x) \geq \frac{JDV}{\sin \alpha} N \geq JDV \cdot N \quad (2)$$

Если произведение $JDV \cdot N$ значительно превышает радиус поражения «Патриота», то боеголовка «Скада» не может быть уничтожена.

В случае, иллюстрированном рис. 3б, огненный шар пересекает траекторию «Скада» за «Скадом» на кадре 1, но перед «Скадом» в момент подрыва. Это геометрия, требующаяся для поражения боеголовки, обеспечивающая расположение огненного шара «Патриота» в точке немного впереди «Скада» в момент подрыва «Патриота»³⁹. Для этой геометрии мы можем написать:

$$|MDT| = |MDPLT - xJDT| = JDT|N - x| \quad (3)$$

где N снова является мерой $MDPLT/JDT$. В уравнение (3) мы вставили знаки абсолютной величины, чтобы устранить неудобство работы с отрицательными расстояниями промаха. Можно получить и полезный нижний предел для истинного расстояния промаха:

$$|MDT| = JDT|N - x| = \frac{JDV}{\sin \alpha}|N - x| \geq \frac{JDV}{\sin \alpha}|N - 1| \geq JDV|N - 1| \quad (4)$$

Очевидно, что правая сторона уравнения (4) дает верный предел для истинного расстояния промаха как для рис. 3а, так и для 3б. Мы видим, что если произведение $JDV \cdot |N - 1|$ значительно превышает радиус поражения «Патриота», то отсутствие поражения будет обеспечено для каждой из рассматриваемых геометрий.

³⁹ Причина, по которой «Патриот» должен подрываться перед ракетой «Скад», проста. Для столкновений, близких к лобовым, рассматриваемых в системе покоя «Патриота», «Скад» движется быстрее, чем фрагменты боеголовки «Патриота». Следовательно, если «Патриот» подрывается позади «Скада», то «Скад» всегда обгонит фрагменты. Аналогично, в системе покоя «Скада» ни один из фрагментов «Патриота» не движется назад.

Случаи, иллюстрируемые рис. 3а и 3б, представляют истинные расстояния промаха, которые малы, когда они измеряются в терминах истинной длины скачка. Рис. 3в показывает, как будет выглядеть рис. 3б при гораздо большем расстоянии промаха, что случается не так уж и редко. Уравнение (4) применимо и в этой ситуации. Как правило, любое событие, в котором огненный шар «Патриота» появляется за положением «Скада» на кадре 0, должно быть промахом.

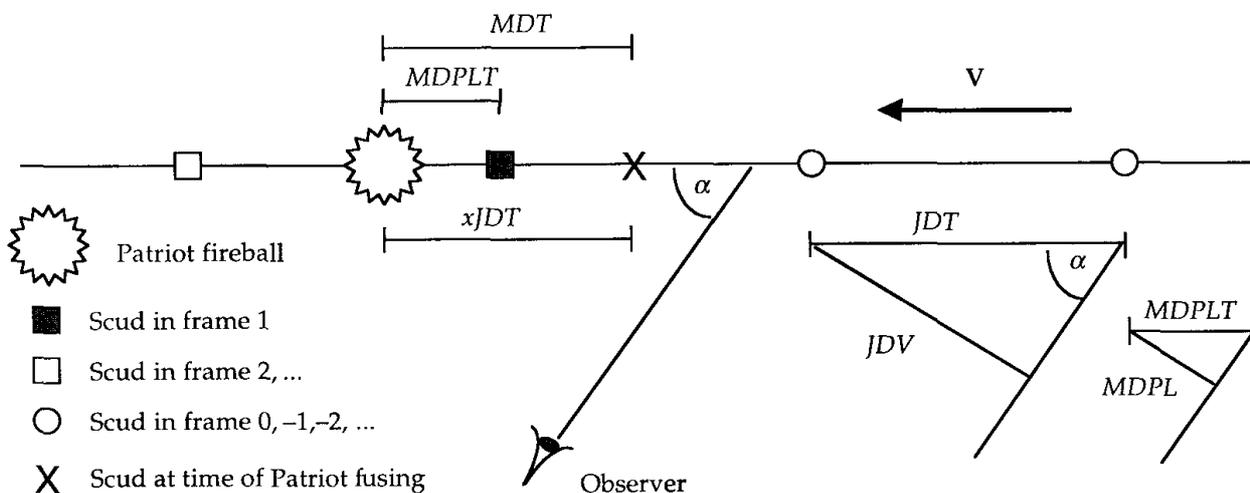


Рисунок 3а. Пример попытки перехвата «Патриотом», в которой огненный шар «Патриота» пересекается траекторией «Скада» и располагается перед «Скадом» на кадре 1, первого видеокadra, на котором появляется огненный шар. Подрыв должен произойти где-то между кадрами 1 и 0. (В масштабе огненный шар должен быть примерно в 10 раз больше, чем он нарисован, так что для перекрытия огненных шаров «Скад» должен наблюдаться в течение нескольких кадров.) Наблюдатель - это видеокамера, ось которой составляет угол α с пространственной траекторией «Скада», которая внутри рассматриваемого интервала времени может считаться прямой линией. Истинное расстояние промаха MDT и истинное расстояние промаха Поста-Льюиса $MDPLT$ показаны над траекторией «Скада». Разница между этими расстояниями, связанная с движением «Скада» между моментами съемки кадров 0 и 1, может быть выражена как доля x от истинной длины скачка, как показано ниже траектории «Скада». Большая и малая треугольные вставки показывают соответственно длину видеоскачка JDV и расстояние промаха Поста-Льюиса $MDPL$, измеренные на видеокдрах. Постол и Льюис использовали отношение $MDPL$ к JDV для сортировки попыток перехвата на явные промахи и перекрытия огненных шаров в соответствии с критериями, описанными в тексте. Обозначения: огненный шар - изломанный круг; «Скад» на кадре 1 - сплошной квадрат; «Скад» на кадре 2 - полый квадрат; «Скад» на кадрах 0,-1,-2 - полый круг; «Скад» в момент подрыва «Патриота» - крест.

Справедливость описанного выше анализа не требует того, чтобы центр масс облака фрагментов боеголовки «Патриота» совпадал с центром масс огненного шара «Патриота». Учитывая большой размер огненных шаров на видеокдрах, единственное требуемое предположение состоит в том, что облако фрагментов боеголовки перехватчика располагается где-то внутри огненного шара.

Что происходит, если огненный шар не пересекается траекторией «Скада»? Это самый простой случай из всех. Любая такая попытка перехвата должна быть промахом, и никаких вычислений не требуется. Если огненный шар пересекается траекторией «Скада» в трех измерениях, то он будет казаться пересекающимся в любом двумерном изображении, при любом угле зрения. Обратное неверно. Может случиться так, что огненный шар «Патриота» будет казаться пересекающим траекторию «Скада» при наблюдении с особенно удачной точки, но огненный шар будет смещен от трехмерной траектории вдоль линии от камеры до траектории «Скада». В таких случаях значение расстояния промаха Поста-Льюиса может не иметь никакого особенного значения, но его использование не приведет к тому, что потенциальное поражение будет засчитано как явный промах.

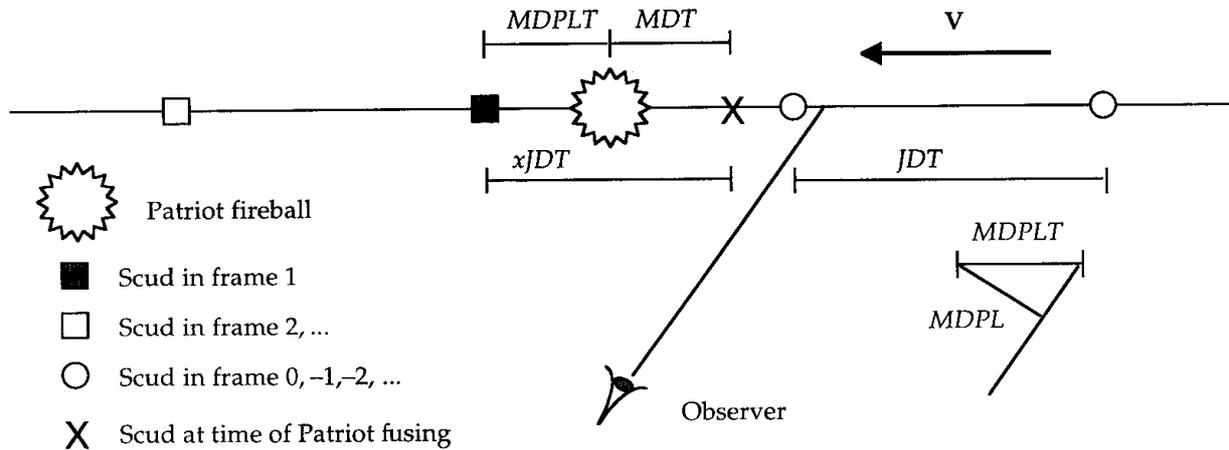


Рисунок 36. Пример попытки перехвата «Патриотом», в которой огненный шар «Патриота» пересекается траекторией «Скада», но располагается за «Скадом» на кадре 1, но впереди положения «Скада» в момент подрыва боеголовки перехватчика (знак X на рисунке). Специальный случай этой геометрии, когда точка X находится внутри огненного шара, является необходимым, но не достаточным условием поражения боеголовки «Скада». Обозначения на рисунке те же, что на рис. 3а.

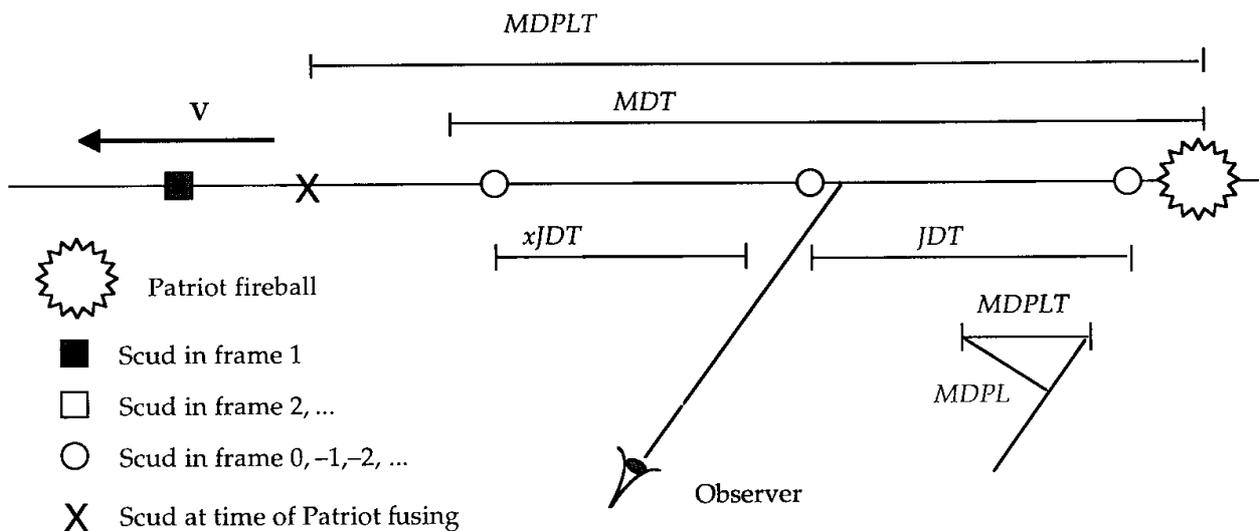


Рисунок 3в. Попытка перехвата «Патриотом», в которой огненный шар «Патриота» пересекается траекторией «Скада», и располагается за положением «Скада» на кадре 1 на расстоянии нескольких длин скачка, и, следовательно, далеко позади положения «Скада» в момент подрыва боеголовки. Такая геометрия, которая часто наблюдается на видеозаписях, однозначно соответствует явному промаху. Обозначения на рисунке те же, что на рис. 3а.

В пределе приближения угла зрения α к нулю ограничение, задаваемое правой частью уравнения (4) остается справедливым, но становится бесполезным, потому что в этом пределе JDV стремится к нулю. Для малых α лучше использовать ограничение, задаваемое вторым справа членом уравнения (4), хотя оно требует знания угла. Если можно сделать оценку расположения точки падения по отношению к положению камеры, то значение $\sin \alpha$ можно будет оценить по видеоизображениям, учитывая, что угол входа и скорость входа боеголовки «Скада» хорошо известны - траектория «Скада» не является произвольной кривой в пространстве. Однако, если угол α становится очень малым, неопределенности этого процесса возрастают. Даже в пределе исключительно малых α , когда наблюдение проводится почти с конца траектории (длины видеоскачков очень малы), трудностей с различением перекрытия огненных шаров от явных промахов нет. Все, что требуется, это просмотр

видеозаписи для определения наличия или отсутствия перекрытия огненных шаров, никаких измерений не нужно.

Подведем итоги. Правильно сказать, что истинное расстояние промаха не может быть определено из одних видеоданных. На это есть две причины: 1) видеокамера определяет положения объектов только через каждые 0,033 сек, и 2) видеоизображение является только двумерным представлением существенно трехмерного события⁴⁰. Тем не менее, Постол и Льюис смогли сделать выводы о расстоянии промаха во многих попытках перехвата на основании видеозаписей. *Основная причина этого проста: если кажущееся расстояние промаха достаточно велико, то видеоданные представляют однозначное доказательство промаха.*

В частности, Постол и Льюис оценивают попытку перехвата как «явный промах» и делают вывод о том, что «Патриот» не мог нанести поражения боеголовке «Скада» только если *MDPL* было в три или более раза больше, чем длина видеоскачка, $N \leq 3$ в обозначениях уравнения (4). В выборе этого условия обрезания нет ничего особенного. Они используют это для простоты, поскольку в видеоданных нет событий с меньшими значениями расстояний промаха вплоть до событий с перекрытием огненных шаров, для которых Постол и Льюис не делают оценки расстояния промаха. Это значит, что распределение *MDPL* является бимодальным - *каждый явный промах имеет MDPL, большое по сравнению со значением соответствующей длины видеоскачка*⁴¹. Сделанный выше выбор порога обрезания является также консервативным в смысле того, что он исключает сомнения в том, какая область внутри огненного шара соответствует зоне летального поражения фрагментами боеголовки «Патриота».

Оценка «Скадов» класса А

В таблице А перечислены даты и места проведения видеосъемок и другая связанная информация, использованная для оценок 15-17 «Скадов» класса А, для которых имеются данные по 29-32 попыткам перехвата. Распределение таково: 6 «Скадов» по 1 попытке для каждого, 8 «Скадов» по 2 попытки для каждого, 2 «Скада» по 3 попытки для каждого, и 1 «Скадов» с 4 попытками перехвата. Таблица А является расширением информации, представленной Постолом и Льюисом в их статье в журнале *Наука и всеобщая безопасность*, в результате их последующей работы³⁴. Мы подготовили эту таблицу для лучшего понимания точных деталей, использованных Постолом и Льюисом для оценки столкновений, этапа, который выходит за пределы оценки попыток перехвата, которые были основной задачей их статьи в журнале *Наука и всеобщая безопасность*. Отметим, однако, что включенная а таблицу типология оценок (F1-F8) была создана авторами для предоставления краткого способа описания причин определения оценок промаха, присваиваемых Постолом и Льюисом, и стоящих за ними данных.

Из 32 попыток перехвата «Скадов» класса А Постол и Льюис при помощи описанной выше методологии оценили 24 как явные промахи и 8 как перекрытия огненных шаров. У одного «Скада» было два перекрытия огненных шаров, у шести других «Скадов» было по одному перекрытию огненных шаров.

10 столкновений класса А, в которых были обнаружены только попытки перехвата с явными промахами, оценены Постолом и Льюисом как неудачные. Этот этап анализа является *единственным*, в котором Постол и Льюис используют расстояние промаха. Основной аргумент уже обсуждался: физически невозможно, чтобы фрагменты боеголовки «Патриота» могли достичь любой части секции боеголовки «Скада». Столбцы в правой части таблицы показывают, что для многих из этих столкновений Постол и Льюис могли указать допол-

⁴⁰ На испытательных ракетных полигонах для того, чтобы преодолеть ограничение (2), используются несколько камер, расположенных в разных местах. Для преодоления ограничения (1) используются высокоскоростные камеры.

⁴¹ Одно из объяснений формы этого распределения таково: (а) перекрытие огненных шаров соответствует подрыву «Патриота» в сечении боеголовки «Скад» или ближайших обломков, и (б) очевидные промахи в основном соответствуют подрывам «Патриота» в хвосте обломков далеко за боеголовкой «Скада» или самоуничтожению после провала попытки поиска цели.

нительную информацию, поддерживающую оценку неудачи. Для четырех «Скадов» (А1, А3, А7 и А9) они указывают на наличие обширных наземных разрушений, мы обозначаем эти оценки через F1. Шесть «Скадов» (А1, А3, А7, А9, А15, и А16) прослеживались до самой земли и вскоре после этого наблюдалась яркая большая вспышка, длившаяся 1 - 2 секунды. Постол и Льюис интерпретируют эти вспышки как детонацию исправных боеголовок «Скадов»; мы обозначаем эти оценки через F2. Четыре «Скада» (А2, А10, А12, и А13) не прослеживались до самой земли и поэтому информации о наземных вспышках нет, так же как и не доступны данные об обширных наземных повреждениях; мы обозначаем эти оценки через F3.

Для 7 «Скадов» с перекрытием огненных шаров Постол и Льюис привлекают дополнительную информацию для определения поражения (или его отсутствия) боеголовки «Скада». Для трех из этих «Скадов» (А6, А8, и А11) наблюдался выходящий из огненного шара объект со слабым торможением, который отслеживался до самой земли, где наблюдалась яркая вспышка. (Для «Скада А11 видеозапись была прервана между второй попыткой перехвата и наземной вспышкой, но наличие обширных наземных повреждений предоставляет дополнительное доказательство для оценки неудачи, которую мы обозначили как F4.) Так же, как для явных промахов с классификацией F2, Постол и Льюис интерпретируют эти вспышки как детонацию исправных боеголовок «Скадов», и поэтому оценивают эти три столкновения как неудачи; мы обозначаем эти оценки через F5. Для двух из этих столкновений («Скады» А6 и А11) Постол и Льюис сообщают, что на их видеозаписях видны доказательства «попадания» «Патриотов». В этих случаях облик секции боеголовки «Скада» до перекрытия с огненным шаром существенно отличается от облика после перекрытия с огненным шаром, который значительно ярче, что согласуется с ростом потока обломков секции боеголовки «Скада». Учитывая, что «Скад» А11 был одним из столкновений с двумя перекрытиями огненных шаров, нам остается обсудить только четыре «Скада» из табл. А.

«Скад» А5 не отслеживался до самой земли и поэтому не имеется информации о наземной вспышке. Не имеется также и информации о наличии или отсутствии обширных наземных разрушений. Для «Скада» А14 ситуация аналогична, за исключением того, что Постол и Льюис не уверены в том, отслеживался ли «Скад» до самой земли, или нет. Видеозапись оканчивается как раз в то время, когда они ожидали появления наземной вспышки. Постол и Льюис оценивают эти столкновения как неудачные, указывая на отсутствие видеoinформации о «попадании» и на выход объекта со слабым торможением из перекрытия огненных шаров по практически не изменившейся траектории. Мы обозначаем эти оценки через F6.

Для «Скада» А4 имеются свидетельства «попадания», т.е. существенного изменения облика после перекрытия огненных шаров. Постол и Льюис не уверены в том, отслеживался ли «Скад» до самой земли, или нет, и но в любом случае на видеозаписи наземная вспышка не наблюдалась. Боеголовка «Скада» была найдена и поэтому является неисправной. (это согласуется с тем, что наземной вспышки не было, если видеокамера работала.) Это событие является одним из трех сообщений армии о неисправных боеголовках «Скада» во время войны после развертывания «Патриота»⁴². Постол и Льюис критикуют заявление армии о том, что неисправность была вызвана «Патриотом», на основании того, что маловероятно, чтобы фрагменты боеголовки «Патриота» достигли механизма взрывателя, расположенного за боеголовкой, без того, чтобы пройти через взрывчатое вещество боеголовки и не вызвать его детонацию⁴³. Мы обозначаем эту оценку Постаола и Льюиса через F7.

«Скад» А17 - это последнее из четырех «попаданий», перечисленных в табл. А. Боеголовка не отслеживалась до самой земли и не имеется никаких свидетельств о наземной

⁴² Четвертая приземлилась в Израиле до развертывания системы «Патриот».

⁴³ В ссылках 51 и 52 к своей статье в *Science and Global Security* они указывают на два других источника информации для поддержки своей позиции: во-первых, Армия не представила комитету Коньерса никаких физических доказательств в поддержку утверждения, что к отказам привел «Патриот»; во-вторых, информация от израильского источника о том, что отказ был исследован, и было показано, что он был связан с дефектным (а не с поврежденным) взрывателем. Очевидно, что оценка этого перехвата полностью зависит от того, был ли связан этот отказ с системой «Патриот». Авторы не имеют независимой информации по этому вопросу.

вспышке или обширных наземных разрушениях. Постол и Льюис оценивают это столкновение как неудачное, поскольку они не видят на видеозаписях никаких подтверждений разрушения боеголовки после выхода из перекрытия огненных шаров. В частности, после попытки перехвата они наблюдали объект со слабым торможением, вышедший из перекрытия огненных шаров по практически не изменившейся траектории. Мы обозначаем эту оценку через F8.

Очевидно, что справедливость оценок Постола-Льюиса F6, F7, и F8 зависит от качества их свидетельств об отсутствии других незамеченных перехватчиков «Пат-риот», которые могли произвести успешный перехват. Отметим, однако, что для всех столкновений, в которых «Скад» был захвачен в кадр на большой высоте и отслеживался на всем своем пути, одни видеозаписи представляют достаточные доказательства того, что никаких других взрывов «Патриотов» вдоль траектории не было.

Оценка «Скадов» класса Б

В табл. Б перечислены 12 столкновений класса Б и данные, использованные Постолом и Льюисом для оценок. Как и в предыдущей таблице, организация и типология оценок столкновений в табл. Б принадлежит авторам. Методология, использованная Постолом и Льюисом для оценок этих столкновений в основном та же, что использовалась для «Скадов» класса А с перекрытием огненных шаров. В одном случае (Б10) потребовался дополнительный аргумент.

«Скады» Б1 и Б11 не отслеживались до самой земли (Б1 был вообще не виден), но они были оценены Постолом и Льюисом как неудачи из-за наличия обширных наземных разрушений. Мы обозначаем эту оценку через F9.

Для восьми «Скадов» (Б2, Б3, Б4, Б6, Б7, Б8, Б9, и Б12) столкновения оценены Постолом и Льюисом как неудачи из-за наблюдавшейся наземной вспышки; мы обозначаем эту оценку через F10. У двух из этих «Скадов» (Б4 и Б7) боеголовка на видеозаписях не обнаружена. У «Скада» Б12 имеются как наземная вспышка, так и обширные наземные разрушения, так что он получил двойную оценку F9 и F10. Эта оценка не может быть опротестована; этот «Скад» разрушил казармы в Дахране.

«Скад» Б10 - это особый случай. Он виден на видеозаписях, но только вначале. Свидетельств о наземной вспышке или обширных наземных разрушениях не имеется. Постол и Льюис оценили это столкновение как неудачу, объясняя это тем, что два перехватчика «Патриот», наблюдаемых на видеозаписях, были запущены слишком поздно, чтобы для того, чтобы войти в пределы области перехвата «Скада» до его падения. Мы обозначаем эту оценку через F11. Справедливость этой оценки зависит от качества имеющихся у Постола и Льюиса свидетельств в пользу того, что два наблюдавшихся перехватчика «Патриот» были запущены слишком поздно, и что не было другого перехватчика, способного осуществить перехват.

У «Скада» Б5 обнаружена наземная вспышка, и он также может быть засчитан как неудача (F10 по нашим обозначениям), за исключением того, что Постол и Льюис не уверены в том, что он упал в пределах защищаемой области «Патриота», и поэтому они оценили это столкновение как *возможную* неудачу, что мы обозначили как O1 (прочие).

Сводка оценок Постола-Льюиса

Для 29 столкновений, оцененных Постолом и Льюисом на базе видеозаписей, дополненных в некоторых случаях вспомогательной информацией, они обнаружили: 1) отсутствие доказательств хотя бы одного поражения боеголовки; 2) доказательства 28 неудач столкновений; 3) одно столкновение, которое не может быть определенно оценено из-за того, что оно может находиться за пределами защищаемого периметра. (Если «Скад» находился внутри защищаемой области, то оценка «Патриота» считалась бы неудачей.) Постол и Льюис уверены, что по крайней мере 27 столкновений являются выделенными, и полагают, что выделены по крайней мере 28 столкновений. При использовании полного числа 44 перехватываемых «Скадов» в войне в Песридском заливе 27 - 29 представляют долю от 61 до 66%. В дополнение к 29 оцененным ими столкновениям, Постол и Льюис имеют видеоданные по трем другим столкновениям, но они считают содержащуюся в них информацию не-

достаточной для оценки.

КРИТИКА БАЗЫ ДАННЫХ ВИДЕОЗАПИСЕЙ И АНАЛИЗА

Методология и выводы Постола и Льюиса неоднократно ставились под сомнение, но похоже, что никто из их критиков, за одним исключением, не пытался анализировать видеоданные, используя методологию Постола-Льюиса, или какой-либо другой метод. Мы рассмотрим сначала общую природу критики использования коммерческих видеозаписей, и затем мы рассмотрим специфическую техническую критику анализа Постола-Льюиса.

Сообщают, что армия и «Рейтеон» использовали некоторые коммерческие видеозаписи столкновений «Скадов» для помощи в объяснении сложного движения боеголовок «Скада» до и после разрушения ракеты. Однако, армия не использовала никаких видеозаписей для определения исхода столкновений «Скадов» ни в одном из двух обсуждавшихся ранее исследований. Официальная позиция армии состоит в том, что коммерческие видеозаписи не могут быть использованы для этой цели. Позиция «Рейтеона» похожа. Позиция армии соответствует результатам, полученным в несекретном исследовании, которое было проведено ею для определения полезности базы данных коммерческих видеозаписей. Это исследование⁴⁴, которое было изучено нами, проводилось директором исследования и оценок материалов ракетного полигона армии США «Уайт-Сэндз» (РПУС), и оно было вкратце изложено на слушаниях ПГДК. Обычная работа директората предусматривает запись и интерпретацию данных, полученных при испытательных пусках ракет, как правило, при помощи нескольких методик (радиолокационной, инфракрасной и видимой). Видеоизображения испытательных пусков на РПУС получают при помощи нескольких высокоскоростных камер слежения, расположенных в разных местах, обычно в дневных условиях.

Доклад РПУС о полезности базы данных коммерческих видеозаписей в лучшем случае поверхностен. После точного формулирования некоторых ограничений данных, получаемых из коммерческих видеозаписей, которые фактически полностью были учтены в методологии Постола и Льюиса, в этом докладе делается вывод о том, что при анализе подобных данных никакой полезной информации об эффективности «Патриота» получить нельзя.

После слушаний ПГДК председатель Лжон Коньерс поручил Постолу и Льюису провести анализ доклада РПУС⁴⁵. В своем обзоре Постол и Льюис указали, что почти все видеозаписи, использованные РПУС в своих исследованиях, были взяты из выпусков новостей, которые почти всегда редактируются (обрезаются и склеиваются) для того, чтобы удовлетворить ограничениям программы. Ограничивая свой анализ вторичными источниками, аналитическая группа РПУС пропустила много полезной информации, присутствующей в первичных, неотредактированных источниках. Постол и Льюис также указали на многие другие недостатки обзора РПУС. В обзоре Массачусетского технологического института содержится также полезная сводка данных по расстояниям промаха, полученных Постолом и Льюисом в их анализе коллекции видеозаписей.

Петер Циммерман, физик, работавший тогда в Центре стратегических и международных исследований в Вашингтоне, в выступлении на слушании ПГДК⁴⁶ заявлял, что *почти всегда* первый кадр, содержащий огненный шар «Патриота», будет показывать его далеко позади боеголовки «Скада», если подрыв «Патриота» происходил несколько впереди боеголовки «Скада», как это требуется для поражения боеголовки, из-за малой частоты кадров (30 кадров в секунду) в коммерческих видеозаписях. В результате, указывал он, поражения боеголовки часто будут неправильно классифицироваться как «явные промахи» при использовании методологии Массачусетского технологического института. Циммерман критиковал

⁴⁴ «Analysis of Videotapes to Assess Patriot Effectiveness (Rev. 1)», Army Material Test and Evaluation Directorate, White Sands Missile Test Range, NM, (March 1992). В этом докладе представлены результаты анализа 140 видеозаписей, представленных фирмой «Рэйтон», которая приобрела записи у коммерческих телевизионных служб новостей.

⁴⁵ Lewis, G.N., and T.A. Postol, «An evaluation of the Army Report 'Analysis of Videotapes to Assess Patriot Effectiveness'», MIT Defense and Arms Control Studies Program, (Sep. 1992).

⁴⁶ Zimmerman P.D., «Testimony before the House Government Affairs Committee», выступление и подготовленное заявление, доклад ПГДК, (1992), стр. 149-176.

также интерпретацию Постолом-Льюисом наземных вспышек как определенное доказательство взрывов (детонации) боеголовок «Скада». Вместо этого он предположил, что наземные вспышки при ударе могут быть «вспышками кинетической энергии», вызванными высокоскоростным ударом поврежденной боеголовки или фрагмента корпуса ракеты, горением оставшегося топлива «Скада», или дефлаграцией (турбулентным горением, но не детонацией) боеголовки «Скада». В целом, он утверждал, что видеозаписи не могут быть использованы для того, чтобы делать полезные выводы об эффективности «Патриота».

После слушаний ПГДК и в ответ на поручение Джона Коньерса после этих слушаний Циммерман также сделал обзор доклада РПУС⁴⁷. В целом он согласился с общими выводами доклада РПУС о бесполезности использования видеоданных для оценки эффективности «Патриота», но критично отнесся к некоторым аспектам доклада. Выйдя за пределы обычного обзора, Циммерман также предпринял попытку анализа видеоданных, используя диаметр огненного шара на видеоизображениях, как пространственную метрику. Он оценил, что реальный диаметр огненного шара на высоте 11 км должен быть равен 8,8 м и предположил, что диаметр огненного шара на видеоизображении совпадает с этими размерами. Используя эту метрику, он утверждал, что расстояние промаха Постолом-Льюиса должно превысить *по крайней мере десять диаметров огненного шара* (около 88 м в его пространственной метрике), прежде чем уверенно классифицировать эту попытку как «явный промах».

Позже, в мае 1993 г. на Вашингтонском совещании, организованном рабочей группой, Циммерман заявил, что он больше не поддерживает этот анализ, и принял, что диаметры огненных шаров на видеоизображениях значительно превышают 8,8 м. На том же самом совещании Циммерман продолжал утверждать, что правильная интерпретация большинства наземных вспышек не означает *детонации* боеголовки, напоминая в качестве доказательства о вспышках, наблюдавшихся на видеоизображениях при высокоскоростных соударениях во время испытания противотанковой ракеты ЛОСАТ в Уайт-Сэндз. (У этой ракеты была не взрывающаяся, а проникающая в броню боеголовка.) И, наконец, он высказал на совещание новое сомнение в методологии Постолом-Льюиса. Циммерман утверждал, что лидирующим видимым объектом на видеоизображениях должна быть не боеголовка «Скада», а часть его корпуса. Однако, он не представил никакого анализа в поддержку этой новой гипотезы.

Ни ГФУ, ни ИСК до сих пор не анализировали базу видеоданных войны в Персидском заливе, и не оценивали *независимо* ее полезность для оценки попыток перехвата или столкновений «Патриота» и «Скада». Имеется, однако, один отчет ГФУ⁴⁸, в котором обсуждаются видеозаписи, но он не содержит технической информации. Авторы доклада ГФУ в основном ссылаются на упомянутый ранее доклад РПУС и мнения многих отдельных лиц по поводу полезности коммерческих видеозаписей, в то же время не делая никаких попыток оценить справедливость любых заявлений, на которые делаются ссылки. ИСК не только не изучало полезности базы видеоданных, но и не приняло какой-либо позиции по поводу методологии Постолом-Льюиса⁴⁹.

Основную техническую критику анализа Постолом-Льюиса можно подытожить следующим образом: 1) видеозаписи не заменяют научных данных; 2) успешные поражения будут почти всегда появляться на видеоизображении с огненным шаром «Патриота» позади боеголовки «Скада»; 3) частота кадров видеокамеры слишком мала для получения пространственного разрешения, достаточного для определения расстояния промаха «Патриота» по «Скаду» с точностью, сравнимой с радиусом поражения перехватчика «Патриота»; 4) истинное трехмерное расстояние промаха не может быть определено из двумерных видеоданных; 5) использование длины видеоскачка как метрики может привести к неправильной классификации успешных поражений боеголовок как явных промахов, поскольку в некото-

⁴⁷ Zimmerman P.D., «Patriot Effectiveness (Rev. 1) and Other Subjects Concerning Patriot ATBM Performance During Operation Desert Storm», доклад для конгрессмена Джона Коньерса, (14 сентября 1992 г.).

⁴⁸ Hinton, D.L., letter report to Frank Horton, Ranking Minority Member, Committee of Government Operations, House of Representatives, GAO/NSIAD, (Oct. 1, 1992).

⁴⁹ Hildreth, S.A., частное сообщение и выступление на собрании рабочей группы в Вашингтоне в мае 1993 г.

рых геометриях длина видеоскачка может быть существенно преуменьшена; 6) секция боеголовки «Скада» после развала может быть недостаточно яркой в видимой области, возможно, до тех пор, пока она не спустится до очень малых высот; 7) объект, отождествляемый Постолом и Льюисом с боеголовкой «Скада», на деле таковой не является; 8) наземные вспышки не являются доказательством взрыва боеголовки «Скада»; 9) большое количество промахов, заявляемое Постолом и Льюисом, не обязательно несовместимо с результатами армии, поскольку в среднем против каждого перехватываемого «Скада» запускалось по три перехватчика «Патриот» и поэтому ожидается, что много перехватчиков не присутствует на видеозаписях.

АНАЛИЗ КРИТИКИ МЕТОДОЛОГИИ ПОСТОЛА-ЛЬЮИСА

Исходя из приведенного выше описания методологии Постола-Льюиса, некоторую критику (пункты 1-5) можно отвергнуть сразу. Другие аспекты (пункты 6-9) требуют подробного обсуждения.

В пункте 1 происходит путаница между *научным методом* и *данными высокой точности*. Научные методы не запрещают использования данных низкой точности при условии учета неопределенности и ограничений данных. Напротив, наука предоставляет средства для точного решения таких задач, и имеется много случаев, в которых грамотный анализ грубых данных приводил к важным научным открытиям.

Пункты 2,3 и 4 являются верными заявлениями, но все они не относятся к анализу Постола-Льюиса по разъясненным ранее причинам. Короче говоря, если истинное трехмерное расстояние промаха достаточно велико, то промах при попытке перехвата можно будет определить по двумерной проекции, несмотря на грубый предел пространственного разрешения, устанавливаемый частотой кадров коммерческих видеокамер и геометрией съемки. В частности, методология правильно (консервативно) принимает все эти ограничения во внимание для всех событий, оцениваемых как явные промахи. Для событий с перекрытием огненных шаров они не делают оценки расстояния промаха, и поэтому пункты 2 -4 не имеют отношения к делу; эти столкновения оцениваются другими способами.

Опасение, высказанное в пункте 5, относится к событиям в углу фазового пространства, в котором видеокамера направлена практически вдоль траектории «Скада». Как обсуждалось ранее, в такой геометрии трехкратная длина видеоскачка может соответствовать в трех измерениях расстоянию, меньшему радиуса поражения «Патриота». (По существу, оператор видеокамеры стоит у цели и снимает приближение «Скада».) Однако, даже если боеголовка «Скада» находится внутри огненного шара «Патриота», она будет находиться там в течение многих кадров, и поэтому это событие будет классифицировано как перекрытие огненных шаров. Возможное поражение, наблюдающееся в такой геометрии, не может быть неверно отождествлено с явным промахом даже в пределе нулевой длины видеоскачка. Постол и Льюис сообщают, что только одна из 32 попыток перехвата близка к этой области геометрии наблюдения.

Пункты 1-5 в том виде, как они сформулированы, не являются справедливой критикой методологии Постола-Льюиса.

Пункт 6 представляет фундаментальное возражение по методологии Постола-Льюиса в целом. К сожалению, невозможно сделать точные предсказания температуры поверхности секции боеголовки «Скада» и затем предсказать мощность ее оптического излучения, поскольку сюда включаются многие сложные явления. Пространственные размеры области оптического излучения как до, так и после развала значительно превышают размеры как «Скада» в целом, так и секции боеголовки, так что наблюдаемый нами объект это не просто сплошное тело. Полное объяснение оптического излучения (общей мощности и пространственного протяжения) требует детального знания параметров траектории, материалов ракеты, схемы развала, и условий окружающей среды, которые просто неизвестны.

Однако, возможно оценить максимальную температуру боеголовки и обтекающего ее потока воздуха из простых физических соображений. Из оценки температуры в точке останова определено следует, что только один нагрев боеголовки из-за аэродинамического торможения не может быть основным источником наблюдаемого на видеозаписи оптического излучения. (Здесь мы расходимся с утверждением Постола и Льюиса, сделанным ими в

статье в журнале *Наука и всеобщая безопасность*, что одно аэродинамическое торможение способно объяснить наблюдаемое оптическое излучение.) Нагретый воздух вокруг боеголовки и за ней также не может быть источником дополнительного излучения, потому что излучательная способность и температура слишком низки для сильного свечения в видимой области. Более вероятно, что в создание оптического излучения, делающего «Скад» видимым на видеозаписях, вносит вклад горение. Например, сгорание вытекающего оставшегося топлива до момента отделения боеголовки от топливных баков при развале, сопровождающееся сгоранием обломков и частиц, отделившихся от корпуса ракеты или секции боеголовки, может внести свой вклад в оптическую сигнатуру. После развала и отделения боеголовки от остатков корпуса ракеты перечень возможных источников горения (например, краски) значительно сокращается. Поскольку, как сообщают, боеголовка «Скада» не имеет абляционного покрытия, это возможность отпадает⁵⁰. Тем не менее, фактом является то, что что-то быстро спускающееся до самой земли наблюдается почти на всех видеозаписях.

Опускается ли лидирующий объект таким образом, как этого следует ожидать от боеголовки «Скада»? Этот вопрос подводит нас к следующему пункту.

Пункт 7 представляет собой заявление о том, что Постол и Льюис *постоянно* неверно отождествляют в своем анализе боеголовку «Скада». Их опровержение этого заявления основано на детальной подгонке набора траекторий «Скада» и определенных из них коэффициентов торможения (а также на наблюдаемых наземных вспышках, обсуждающихся в следующем пункте). Они не определяли коэффициент торможения для каждого столкновения, но они утверждали, что поведение объекта, наблюдавшегося ими выходящим из обломков «Скада» и его отождествление с боеголовкой «Скада» в событиях, подгонявшихся ими, аналогично тем, которые они обычно наблюдали на видеозаписях. (В сноске 4 к приложению Б в их статье в журнале *Наука и всеобщая безопасность*, Постол и Льюис приводят перечень из 12 измерений длительности падения на землю после попытки перехвата, проведенных по видеозаписям. Им соответствуют «Скады» А1, А8, А9, А15, и А18 из нашей табл. А. Среднее время падения на землю равно 11,8 сек. Из этого среднего исключены две другие попытки перехвата («Скады» А3 и А6), для которых можно измерить по видеозаписям время падения на землю, но которые рассматриваются Постолом и Льюисом как «необычно низкие».) Приведенная аргументация такова.

Относительное влияние силы тяжести и силы торможения для объекта, движущегося сквозь атмосферу, характеризуется баллистическим коэффициентом объекта $\beta = W/(AC_d)$, где W - вес, A - площадь поперечного сечения, и C_d - коэффициент торможения, определяющийся из уравнения силы торможения $F_d = \rho v^2 AC_d / 2$.⁵¹ Время падения объекта с заданной высоты зависит от высоты, вектора начальной скорости (величины и направления), и баллистического коэффициента. (В этом обсуждении мы пренебрегаем подъемной силой.)

На рис. 4 показана длительность падения в зависимости от баллистического коэффициента для типичной траектории «Скада» и для начальной высоты 11,4 км. Пологий наклон левой части кривой показывает, что для объектов со слабым торможением время падения практически не зависит от коэффициента β , как это можно понять интуитивно. Начальная высота, выбранная для рис. 4, заключается в типичном, по Постолу и Льюису, интервале высот (10 - 12 км), в котором происходила большая часть первых попыток перехвата, в то время как вторая попытка перехвата обычно происходила на 3 км ниже. Они сообщали, что на видеозаписях часто наблюдалось разрушение «Скада» между первой и второй попытками перехвата.

На рис. 5 показаны времена падения для различных высот в более ограниченном интервале баллистических коэффициентов. Кривые на рисунке рассчитаны по приближенной аналитической модели⁵², в которой предполагается, что траектория входа прямая, плотность атмосферы меняется по экспоненте (постоянная шкала высот), коэффициент тормо-

⁵⁰ В любом случае, мало вероятно, что при торможении в воздухе будут возникать температуры, вызывающие абляцию.

⁵¹ По соглашению, в метрическом определении β вместо веса используется масса, и поэтому она является другой физической величиной.

⁵² Regan, R.J., *Re-Entry Vehicle Dynamics*, AIAA, (1984).

жения постоянен, а силой тяжести можно пренебречь⁵³. Поскольку приближение прямой траектории становится особенно неточным для объектов с сильным торможением (малые β), кривые на рис. 5 обрезаны при $\beta = 400$ фунтов/фут² (1950 кг/м²). Этот график полезен для понимания чувствительности времен падения и определяемых значений β к высоте перехвата, но не к точному представлению траектории.

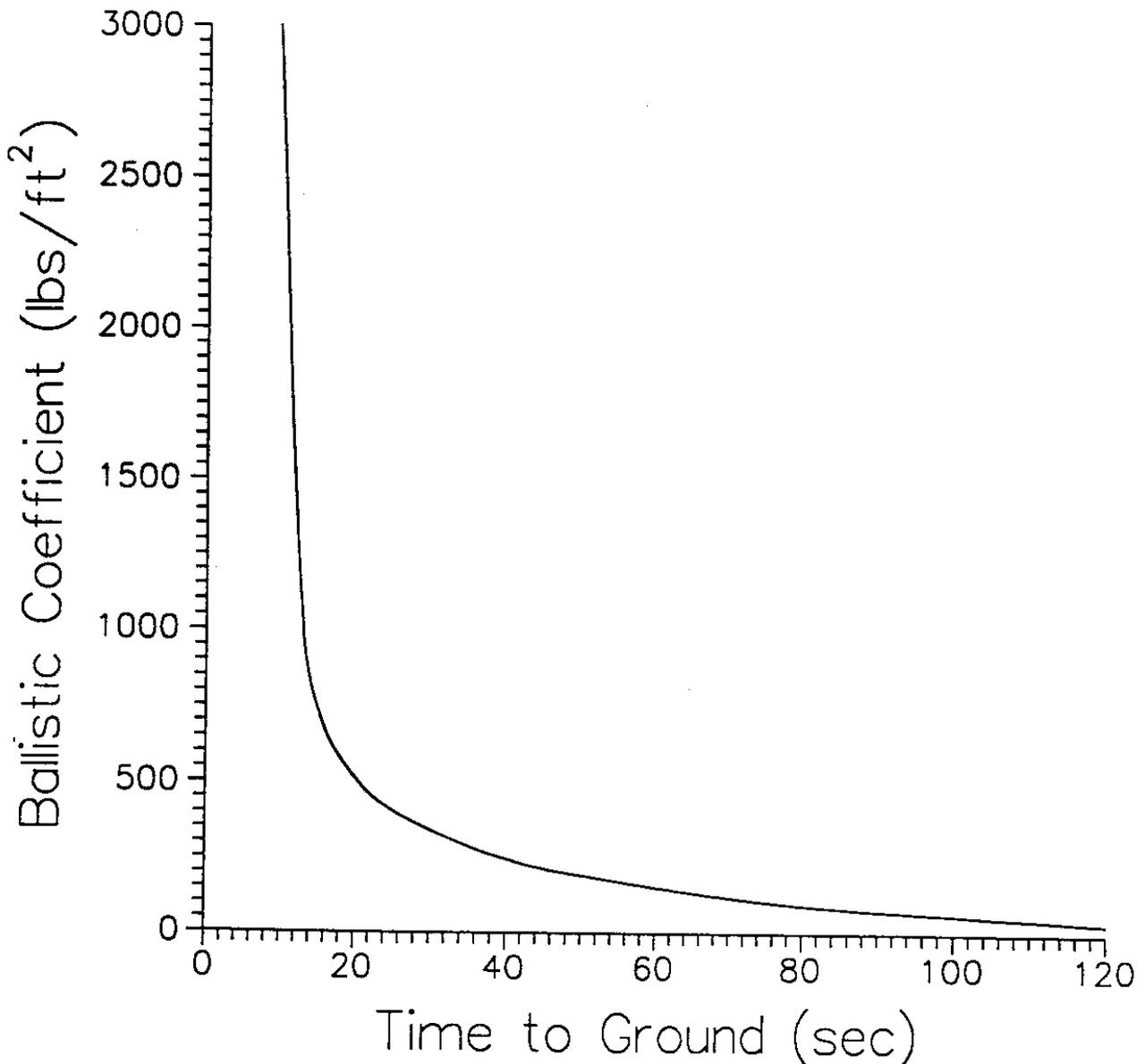


Рисунок 4. График зависимости длительности падения на землю с высоты 11,4 км в секундах (по оси X) от баллистического коэффициента в фунтах/фут² = 4,88 кг/м² (по оси Y). Начальные условия соответствуют типичной траектории «Скада» (точнее, «Эль-Хусейна»). Рисунок любезно предоставлен Постолом и Льюисом.

Видеозаписи позволяют непосредственно измерить длительность падения любого объекта, образующегося при попытке перехвата для любой геометрии наблюдения, если объект отслеживался до самой земли. Постол и Льюис определили баллистические коэффициенты в указанном ранее интервале начальных высот для лидирующего объекта в не-

⁵³ Для того, чтобы получить представление о том, как серьезно приближение пренебрежения силой тяжести, отметим, что отношение величины силы торможения и силы тяжести равно 10 : 1 для объекта с баллистическим коэффициентом $\beta = 5900$ кг/м², скоростью 2,1 км/сек и плотностью атмосферы на высоте 11 км, соответствующей шкале высот в 7 км.

скольких столкновениях. Они определили, что $\beta = (1000 \pm 200)$ фунтов/фут² = (5000 ± 1000) кг/м², где интервал ошибок отражает интервал предположений о начальных высотах и начальной скорости, и позволяет возможные вариации коэффициента торможения. Из рис. 5 мы видим, что этот интервал ошибок соответствует неопределенности высоты примерно в ± 2 км. (Отметим, что имеется приблизительное соответствие между кривой на рисунке для 12 км и кривой на рис. 4, для начальной высоты в 11,4 км, которая была получена в результате более подробного расчета.)

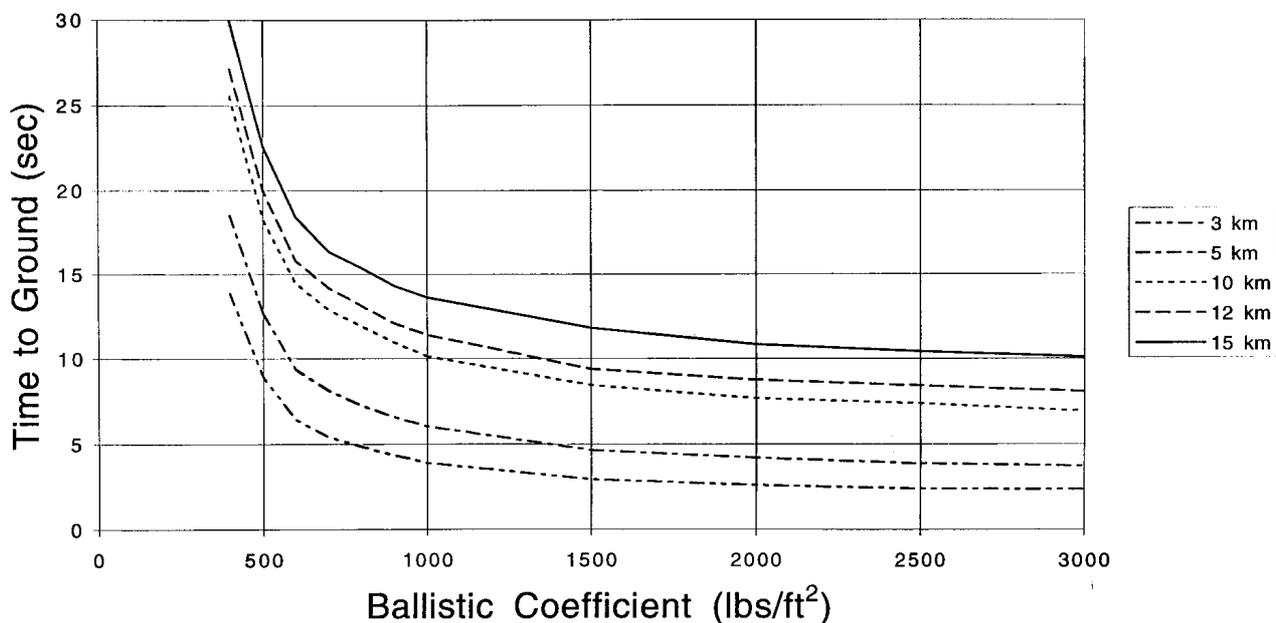


Рисунок 5. Длительность падения до земли в секундах (по оси Y) в зависимости от баллистического коэффициента в фунтах/фут² = 4,88 кг/м² (по оси X), рассчитанная по соответствующей модели, которая описана в тексте. Кривые могут использоваться для оценки чувствительности баллистических коэффициентов, подогнанных к длительности падения на землю, к неопределенности в начальной высоте. Кривые, показанные на рисунке, предназначены для иллюстрации тенденций, но они не могут быть использованы для точной подгонки к траекторным данным. (Отметим, что имеется приблизительное соответствие между кривой на рисунке для 12 км и кривой на рис. 4, которая была получена в результате более подробного расчета.)

Постол и Льюис сделали теоретические оценки и привели ссылки на экспериментальные данные из литературы для того, чтобы показать, что коэффициенты торможения такого порядка согласуются с объектом с весом, поперечными размерами и общей формой секции боеголовки «Скада». Для целого «Скада» и для нормально отделившейся и не кувыркающейся боеголовки «Скада» ожидается, что баллистические коэффициенты будут *приблизительно* равны $\beta_c = 3000$ фунтов/фут² = 14600 кг/м², и $\beta_{БГ} = 1200$ фунтов/фут² = 5800 кг/м², соответственно⁵⁴. Напротив, баллистические коэффициенты пустого топливного бака или секции корпуса «Скада» будут намного меньше ($\beta = 100-300$ фунтов/фут² = 500-1500 кг/м²), особенно, если они будут кувыркаться. Для этой группы объектов с сильным торможением длительность падения с начальной высоты в 11 км будет составлять 25 - 50 сек, по сравнению с длительностью падения около 10 сек для некувыркающейся секции боеголовки. Такие временные различия легко выявляются при анализе видеоданных.

Лидирующий видимый объект на видеозаписях падает со скоростью, согласующейся с ожидаемой для некувыркающейся секции боеголовки «Скада».

Мы отметим также, что классификация событий Постолом и Льюисом как «явных промахов» и «перекрытий огненных шаров» надежна независимо от того, видна ли боего-

⁵⁴ См., например, Hoerner, S.F., *Fluid-Dynamic Drag: Practical Information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance*, опубликовано автором (1965).

ловка на видеозаписях, или нет. Это происходит потому, что для всех отмеченных Постолом и Льюисом явных промахов, кроме двух, огненный шар «Патриота» расположен далеко за лидирующим объектом. Если предположить, что *лидирующий объект является боеголовкой* (видимой или нет), то утверждение о том, что Постол и Льюис неверно отождествляли боеголовку, приведет к *уменьшению* количества перекрытий огненных шаров, а не к его увеличению. Все попытки перехвата, оцененные Постолом и Льюисом как явные промахи, останутся явными промахами с еще большим расстоянием промаха, в то время как некоторые перекрытия огненных шаров могут стать явными промахами⁵⁵.

К пункту 8 можно подойти с разных сторон. Как показало наше обсуждение оценок в табл. А и Б, интерпретация наземных вспышек играет важную роль в оценках Поста-Льюиса. Если принять, что отождествление боеголовок Постолом-Льюисом правильно (или, по крайней мере, если боеголовка находится рядом с лидирующим видимым объектом), то сообщения армии о большом количестве невзорвавшихся боеголовок вполне подходящи. Когда боеголовка достигает земли, то она взрывается, или же она неисправна. (Возможно также сильное уменьшение мощности взрыва, но армия сообщила только о двух таких случаях за время войны в Персидском заливе.) Следовательно, все достигшие земли целые боеголовки, за исключением неисправных, должны взорваться при ударе, и поэтому все видеозаписи, в которых боеголовка прослеживалась до самой земли, должны содержать изображение детонации боеголовки.

В информации, представленной ПГДК, армия сообщила, что за время войны было найдено четыре неисправных боеголовки, две в Саудовской Аравии, и две в Израиле. Первая из этих боеголовок упала в Израиле до развертывания «Патриотов». Три оставшиеся принадлежали «Скадам», атакованным «Патриотами». У Поста и Льюиса была видеозапись одной из них⁵⁶, в которой лидирующий видимый объект отслеживался до самой земли. *Наземной вспышки не было*. В девяти других столкновениях, перечисленных в табл. А, в которых лидирующий видимый объект отслеживался до самой земли, наземные вспышки наблюдались.

Согласуются ли наблюдаемые наземные вспышки с тем, что можно ожидать увидеть с расстояния на коммерческой видеозаписи после взрыва (детонации) боеголовки «Скада»? К сожалению, предмет оптического излучения детонации взрывчатого вещества нельзя свести к простым вычислениям. Мы сомневаемся даже в том, что условия внутри боеголовки «Скада» известны достаточно хорошо, чтобы надежно предсказать ожидаемое оптическое излучение, какой бы изоцирковой не была модель и программа. Тем не менее, можно сделать некоторые общие замечания.

На видеоизображениях, снятых удаленным наблюдателем, вряд ли удастся захватить очень высокие температуры (около 5000 К), которые возникают внутри взрывчатого вещества при распространении детонационной волны (с типичной скоростью 8 мм/мксек), даже если была доступна свободная линия наблюдения точки падения. Для этого были две главные причины. Взрывчатое вещество и продукты детонации являются оптически толстыми (непрозрачными). Очень высокие внутренние температуры, связанные с детонацией, будут поэтому скрыты от внешнего наблюдателя, смотрящего на незакрытый заряд, даже если детонационная волна будет близка к поверхности. Если заряд будет скрыт внутри металлического корпуса или другого непрозрачного контейнера, никакое оптическое излучение, характеристическое для внутренних температур детонации, не выйдет наружу до разрыва корпуса или контейнера. После разрыва в окружающем заряде (незакрытый или в корпусе) воздухе пройдет ударная волна, инициируемая расширяющимися продуктами детонации взрывчатого вещества. В некоторых случаях нагретый ударной волной воздух может достигать температур до 10000 - 40000 К, но очень на коротком промежутке расширения. Воздух при таких температурах эффективно излучает оптическое излучение, и это выходящее излучение называют «суперлюминесценцией». Однако, эти сверхвысокие температуры на-

⁵⁵ Упомянутые выше два исключения показывают, что огненный шар от «Патриота» расположен далеко впереди ведущего объекта, и поэтому вряд ли этот случай может быть определен в данном анализе как удачный.

⁵⁶ Ракета «Скад» А4 в табл. А. Они полагают, что А10 была одной из выявленных армией неудач. Однако, в видеозаписи не прослежено движение ракеты «Скад» до земной поверхности.

блюдаются в течение очень короткого времени, из-за того, что нагретый ударной волной воздух очень быстро расширяется, что приводит к быстрому уменьшению максимальных температур. Оценки продолжительности существования температуры нагретого воздуха, превышающую 5000 К, находится в интервале от 10 до 100 мксек. Наличие корпуса боеголовки, возможно, скроет суперлюминисценцию в течение большей части этого интервала. Учитывая, что промежуток между кадрами коммерческой видеокамеры равен 33 мс, суперлюминисценция может наблюдаться максимум на одном кадре.

Наземные вспышки, отождествляемые Постолом и Льюисом с сигнатурами детонации боеголовок «Скада», наблюдаются в течение нескольких кадров, т.е. в течение примерно 0,1 сек, и самая яркая вспышка наблюдается на первом кадре⁵⁷. Хотя это излучение не может быть связано с суперлюминисценцией, оно согласуется с оптическим излучением, ожидаемым от боеголовки «Скада» в результате постдетонационного горения. Вкратце обсудим это.

Использованные Ираком боеголовки «Скадов» снаряжаются примерно 240 кг Тритонала, распространенного взрывчатого вещества, состоящего из 70% ТНТ и 30% металлического алюминия в форме мелких частиц (пудры)⁵⁸. Добавление алюминия значительно увеличивает мощность взрыва из-за того, что реакция алюминия и кислорода является сильно экзотермической. Большая часть дополнительного энерговыделения происходит *после* того, как пройдет процесс детонации, поскольку в Тритонале не хватает кислорода. Любой алюминий и оставшиеся составляющие взрывчатого вещества, не превратившиеся в двуокись углерода и воду во время фазы детонации, будут догорать в атмосферном кислороде. Ожидается, что догорание должно быть основным источником наблюдаемого оптического излучения при детонации боеголовок «Скадов». При температурах от 1500 до 2500 К длительность догорания может составлять от 0,1 до 1 сек. Турбулентное перемешивание газообразных продуктов взрыва с атмосферой поддерживает продолжающийся процесс горения. Образуемый огненный шар и оптическое излучение крайне неоднородны и асимметричны. Это не наблюдалось на коммерческих видеозаписях, вероятно, из-за ограничений камеры, таких, как насыщение мозаики видеодетекторов и электроники.

Точное определение цветовой температуры наземных вспышек принесло бы пользу. К сожалению, этого нельзя сделать при использовании коммерческих видеозаписей войны в Персидском заливе. Кроме того, что эти приборы некалиброваны, в них легко могут проявиться искажения цвета, введенные автоматической системой управления усилением, атмосферные эффекты, подобные релеевскому рассеянию, или другие явления. Все такие эффекты будут влиять на цветовую температуру.

Существуют ли заслуживающие доверия альтернативные объяснения наземных вспышек, *отличные* от детонации? Может ли оптическое излучение появиться от горения оставшегося топлива, достигшего земли, при ударе? Принимая во внимание 18 наземных вспышек на видеозаписях, перечисленных в табл. А и Б, механизмы переноса принесенного топлива на землю должны представлять весьма регулярные события. Для шести из этих наземных вспышек имеются указания на обширные наземные повреждения, что свидетельствует о наличии чего-то большего, чем процесс горения. Боеголовки, которые были частью тела ракеты, после развала должны быстро отделиться от топливных баков, которые будут падать намного медленнее. Целый «Скад», или частично разрушенный «Скад» с оставшимися прикрепленными к секции боеголовки топливными баками, должны нести оставшееся топливо до самой земли, но, за исключением трех известных неисправных боеголовок, все остальные боеголовки должны были детонировать при взрыве. Никакие выдвинутые интерпретации наземных вспышек, кроме детонации, не согласуются со всеми данными, содержащимися на коммерческих видеозаписях и других открытых данных.

Наземные вспышки, наблюдаемые на видеозаписях, согласуются с оптическим излучением, ожидаемым от постдетонационной фазы Тритонала, взрывчатого вещества, используемого в боеголовках «Скада».

⁵⁷ В своей статье в *Science and Global Security* (ссылка 30) Льюис и Постол сообщают, что только в редких случаях съемочная камера находилась вблизи точки падения, и луч зрения был свободен от перпятствий.

⁵⁸ Johansson, C.H., and P.A. Persson, *Detonics of High Explosives*, (Academic Press, 1970), Chapter 5.

Пункт 9 возник после того, как Постол и Льюис опубликовали свой анализ видеозаписей. В это время критика была в основном сосредоточена на справедливости и значении оценок попыток перехвата Постолом-Льюисом как явных промахов и перекрытий огненных шаров, как дано в табл. А. Это правильно, что видеозаписи должны содержать большое количество (две трети или больше) промахов перехватчиков «Патриот», для отношения перехватчиков к «Скадам» три к одному, или более, для создания эффективной обороны. Но это наблюдение не относится к ключевому вопросу успеха столкновений «Патриотов». Для определения того, согласуются ли оценки Постолом-Льюиса *попыток перехвата* с армейскими оценками *столкновений*, необходимо использовать модель, которая будет включать вероятности поражения для отдельных попыток перехвата «Патриотов», количество запущенных против «Скадов» перехватчиков, и предположения, касающиеся независимости отдельных попыток перехвата, или же, напротив, детальную информацию о зависимости вероятностей. Вместо того, чтобы вводить такую модель, намного лучше непосредственно сравнивать оценки столкновений, как это делали Постол и Льюис, и как показали мы в табл. А и Б. Предметом основного интереса являются именно оценки столкновений.

Мы покажем ниже, что даже без знания армейских оценок отдельных столкновений существует противоречие официальной доли успеха против всех перехватываемых «Скадов» и результатов Постолом-Льюиса по всем оцениваемым столкновениям в базе видеоданных без всякой необходимости обращения к статистическим аргументам.

Постол и Льюис сообщают оценки для 29 столкновений, 17 в табл. А и 12 в табл. Б. (Снова напомним о том, что два из «Скадов», перечисленных в табл. А, могут быть дубликатами.) В обозначениях этой статьи оценки Постолом-Льюиса представляют 28 неудач, определенных на основании одиннадцати различных комбинаций (F1-F11), и одна (O1), которая также может быть неудачей (F10), если будет показано, что «Скад» находился внутри защищаемой области. Средневзвешенное значение официальных армейских оценок общей доли успеха для Саудовской Аравии и Израиля равно 59%. Для общего количества 44 перехватываемых «Скадов» это составляет 26 успехов и 18 неудач. Общее количество в 28 неудач в оценках Постолом-Льюиса абсолютно не согласуется с общим количеством 18 неудач в армейских оценках, *даже если каждое из столкновений*, не вошедшее в видеозаписи, было успехом «Патриот». Даже если исключить два возможных дубликата из табл. А и одиночное столкновение с оценкой O1 из табл. Б, то в оценках Постолом-Льюиса останутся 26 неудач, и абсолютное противоречие с армейскими результатами (18 неудач) останется.

Если пойти дальше, и, в дополнение, исключить все столкновения Постолом-Льюиса, в которых не наблюдались ни обширные наземные повреждения, ни наземные вспышки, (это исключит все оценки F3, F6, F7, F8, и F11⁵⁹, а также O1, но оставит все оценки F1, F2, F4, F5, F9, и F10), Постол и Льюис останутся с основным набором из 19 столкновений и 19 неудач против армейского набора с 18 неудачами для 44 перехватываемых «Скадов». Противоречие сохраняется (19 против 18), хотя разница становится малой. Однако, для получения такой ситуации требуется, чтобы все столкновения, исключенные из табл. А и Б, и все столкновения, не наблюдавшиеся на видеозаписях (всего 25), закончились успехом «Патриотов». Это крайне маловероятно даже при использовании армейских оценок доли успеха.

Возможно, что некоторые или все из четырех объявленных армией поражений миссии находятся в наборе столкновений Постолом-Льюиса. Если любое из двух столкновений, оцененных армией как *поражение миссии в результате отклонения*, находится в наборе Постолом-Льюиса, то разногласие между их числом и армейским числом неудач уменьшится максимум на два. Только в самом крайнем случае, основной набор Льюиса-Постолом из 19 столкновений может избежать противоречия (19-2 = 17 против 18), но уход от противоречия требует, чтобы *все, кроме одного*, из оставшихся 25 столкновений были успехами «Патриота», что представляет исключительно маловероятную ситуацию. Это требует также, что свидетельства армии в пользу отклонений справедливы.

Два столкновения, оцененные армией как *поражение миссии в результате уменьшения мощности взрыва* до малой величины (если они правильны), вряд ли являются столкновениями из центрального набора Постолом-Льюиса, потому что малая мощность взрыва несовместима с обширными наземными повреждениями или с заметной наземной

⁵⁹ Отметим, что этот шаг исключает также два возможных дубликата в табл. А, где они отмечены как F6 и F8.

вспышкой. Если, напротив, одно или оба из этих столкновений вошли в центральный набор, то соответствующие армейские оценки вызовут подозрения. И, наконец, следует отметить, что вывод из строя, отклонение или уменьшение мощности взрыва не являются оптимальными механизмами поражения для системы противоракетной обороны.

Хорошо было бы провести сравнение оценок Постола-Льюиса и армии по отдельным столкновениям. Однако, этого сделать нельзя, потому что армейские оценки отдельных столкновений остаются секретными. Можно провести одно сравнение «Скадов», упавших в Саудовской Аравии, и «Скадов», упавших в Израиле. Мы оставляем это читателю. Сделаем следующий вывод:

Общие оценки Постола-Льюиса (0 поражений боеголовок, 26-28 неудач, и 1 прочая) для 27-29 столкновений «Патриотов» и «Скадов» (61-66% от всех столкновений в войне в Персидском заливе) очевидно не согласуются с общими оценками армии (33 поражения боеголовок, 4 поражения миссии, и 18 неудач) для 44 перехватываемых «Скадов»⁶⁰.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ В ОТНОШЕНИИ ВИДЕОАНАЛИЗА

Мы не проводили анализа ни одной видеозаписи, так что мы не можем ручаться за количественные измерения, проводившиеся Постолом и Льюисом, или за качество дополнительных свидетельств, включенных ими в свой анализ. Однако, мы провели достаточно подробный анализ методологии Постола-Льюиса.

(1) Методология, использованная Постолом и Льюисом для анализа коммерческих видеозаписей столкновений «Патриотов» и «Скадов» привела к физически согласованной интерпретации всех явлений, наблюдаемых на видеозаписях, вместе со всеми другими несекретными связанными данными. С точки зрения ограничений представляемых аналитику видеоданных, из видеозаписей может быть получена важная информация об эффективности «Патриотов».

Все данные, использованные Постолом и Льюисом, являются открытыми, и поэтому возможно провести их повторный анализ, который, однако, потребует большой работы. Возможно, что повторный анализ другой стороной при несколько отличных предположениях и критериях приведет к другим оценкам отдельных столкновений, но исключительно маловероятно, чтобы изменился основной вывод Постола и Льюиса об очень малой эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе.

(2) Оценки, полученные Постолом и Льюисом, нечувствительны к небольшим изменениям в их анализе, и демонстративно не согласуются с оценками эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе, сообщаемыми армией.

Хотя анализ Постола-Льюиса основан на простой физике, реальные происходящие явления сложны. Несколько наблюдаемых на видеозаписях особенностей остаются необъясненными: неожиданно большие размеры огненных шаров, оптическое излучение от «Скадов» до и после развала, намного сильнее ожидавшегося, детали природы оптического излучения наблюдаемых наземных вспышек. Постол и Льюис преодолели основные препятствия, обнаружив, что из видеозаписей можно извлечь полезную информацию, и научившись со временем делать это с минимумом предположений. Жаль, что армия и «Рейтеон» не признают коммерческих видеозаписей источником полезной информации об эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе. Мы делаем вывод:

(3) Армия должна использовать техническую информацию, имеющуюся на коммерческих видеозаписях, в своем анализе эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе.

Комплексное исследование с использованием видеоданных и армейской базы данных предоставит информацию о траекториях «Скадов», высотах развала, и дополнительные сведения, что позволит уточнить анализ видеоданных по отдельным столкновениям. С другой стороны, видеоданные во многих случаях позволят уточнить анализ армии, и это предоставляет возможность для проверки справедливости армейской классификации данных на категории высокой, средней и низкой надежности. Хорошо бы, если израильские данные также были бы включены в комплексное исследование.

⁶⁰ Напомним, что, как обсуждалось ранее, число 44 приближенно, но считается точным в пределах ± 2 .

(4) Расхождение между оценками эффективности «Патриота» Постола-Льюиса и армии может быть разрешено путем проведения комплексного технического исследования, совмещающего использованные Постолом и Льюисом коммерческие видеозаписи и дополнительные открытые данные, и секретную базу данных наземных падений и подразделений «Патриотов», использованную армией в своих исследованиях.

Если армейская база данных, доклад о втором армейском исследовании, и поддерживающие их материалы будут рассекречены, то можно будет провести полное комплексное исследование, но и в этом случае оно будет весьма серьезным предприятием. Если рассекречивание полной базы данных и документов невозможно, то рассекречивание оценок отдельных столкновений вместе с уровнями надежности для каждого столкновения (высокой, средней или низкой) будет исключительно полезно для выявления различий между двумя анализами.

(5) Рассекречивание всей технической базы данных (или ее части), использованной армией в ее втором исследовании эффективности «Патриота» поможет разрешить имеющиеся вопросы по поводу этого исследования и конечном счете послужит долгосрочным интересам армии. Полезным первым шагом может быть рассекречивание оценок армии для отдельных «Скадов».

ПОЛУЧЕННЫЕ УРОКИ

Мы полагаем, что из долгих и напряженных дебатов по эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе, некоторых замечаний и наблюдений можно получить несколько важных уроков.

Подразделения «Патриотов», размещенные в настоящее время в Корее, Израиле, Саудовской Аравии и других местах, получили улучшенное программное обеспечение, взрыватели и другие модификации, разработанные для улучшения эффективности по сравнению с подразделениями PAC-2, использованными в Персидском заливе. Улучшение подразделений «Патриотов» проводилось по программе быстрого реагирования (ПБР PAC-2). Поэтому эффективность «Патриота» в войне в Персидском заливе нельзя экстраполировать на систему ПБР PAC-2 без подробного технического понимания изменений системы, которым мы не обладаем.

Планируется ввести в систему «Патриот» совершенно новый перехватчик ЭРИНТ (перехватчик с увеличенной дальностью), разрабатываемый компанией «Лорел Системз». В новом перехватчике используется двухдиапазонный (К- и С- диапазоны) радар поиска цели на конечном участке. После развертывания система получит название PAC-3 и она на долгое время останется наземным звеном архитектуры ПРО ТВД США. Наши исследования не относятся напрямую к эффективности системы PAC-3/ЭРИНТ, или любой другой будущей системы противоракетной обороны, но можно ожидать, что цели, которым будут противостоять новые системы ПРО, преподнесут новые сюрпризы, как это было с «Патриотом» во время войны в Персидском заливе.

Урок первый

Долгие и напряженные дебаты по эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе вместе с продолжающимися до сих пор диспутами по эффективности других высокотехнологичных систем оружия в войне в Персидском заливе⁶¹ показывают, что решение о том, что управление программы и производитель новой системы оружия являются единственными участниками послевоенного исследования эффективности этой системы, ошибочно. Организации, участвующие в заказе, разработке и производстве систем оружия, просто слишком заинтересованы в этой проблеме. Нереалистично думать, что эти участники могли бы беспристрастно рассматривать эту проблему, вне зависимости от их добрых намерений и технической подготовки. Этот урок не нов; проверки и противовесы являются необходимостью.

При анализе системы оружия, проводящемся во время войны, важно участие тех, кто

⁶¹ General Accounting Office, «Operation Desert Storm: Analysis of the Air Campaign», GAO/INSIAD 97-124, (June, 1997).

больше всего знает о системе. Во время войны в Персидском заливе, армия и компания «Рейтеон» сделали много изменений за очень короткое время для модификации программного обеспечения «Патриота» для набора многочисленных и близко расположенных целей, образующихся при развале «Скада», для спиральной траектории «Скада» после развала, для фиктивных целей, и других эффектов, которые влияли на эффективность системы «Патриот». Быстрый отклик действительно впечатляет, так же как и ускорение производства перехватчиков «Патриот», достигнутое компанией «Рейтеон». Тем не менее, имеются основания для беспокойства.

Похоже, что в Израиле во время войны была проведена более полезная работа по сбору и анализу дополнительных данных, относящихся к эффективности «Патриота», по сравнению с деятельностью американского персонала. Частично, им, вероятно, было легче, поскольку израильтяне были дома, в отличие от американцев, которые работали в Саудовской Аравии в условиях ограничений этой страны. Кроме того, тут помогла более компактная и урбанистическая природа Израиля.

Сбор и анализ данных не могут быть основной задачей операторов систем оружия во время боевых действий. Их работа состоит в управлении подразделениями согласно полученной подготовке и максимально возможном поддержании их боеспособности. Имеются все указания на то, что американские операторы «Патриотов» в Саудовской Аравии были очень старательными, а их работа была весьма эффективной. Любые недостатки в эффективности системы «Патриот» в войне в Персидском заливе не были связаны с операторами. Однако, деятельность Израиля по сбору и анализу данных позволяет извлечь соответствующий урок.

Урок второй

Может оказаться полезным прикомандировать технический персонал к регулярным подразделениям высокотехнологичных систем оружия для выполнения обязанностей, отличных от обязанностей операторов. Обязанности дополнительного персонала должны заключаться в сборе и анализе данных, относящихся к эффективности системы во время боевых действий. При необходимости эти специалисты могут работать вместе с гражданскими и другими военными экспертами по сбору и анализу данных об эффективности и выявлению необходимых исправлений. Поскольку в наиболее современных системах оружия запись данных производится в больших объемах и автоматически, то здесь всегда будут сюрпризы. В таких обстоятельствах технически подготовленный персонал может откликаться на неожиданные возможности, собирать особые данные, и делать полезные рекомендации. Если в штате не предусмотрено лиц, ответственных за техническое слежение за эффективностью системы, то очевидно, что в боевых условиях для выполнения этой работы ни у кого времени не будет.

Урок третий

Традиционная модель линейного развертывания систем оружия предусматривает одностороннее движение через конструирование, разработку, испытания и развертывание, в которой испытания являются последним этапом, на котором происходит существенное техническое вмешательство (за исключением модификаций). Для современных систем оружия линейная модель с четким разделением между фазами испытаний и развертывания неверна. Большинство современных систем оружия весьма сложны и во многих случаях их невозможно испытать в реальных боевых условиях. Эффективность таких систем в бою следует рассматривать как продолжение фазы испытаний. (На самом деле это не ново, и не является уникальным свойством высокотехнологичного оборудования.) Если принять эту точку зрения на процесс разработки, то современные системы оружия должны сопровождаться специальным техническим персоналом с определенными обязанностями, выделенным временем, и доступом к данным, которые позволят им эффективно откликаться на неожиданные события. Если американские военные не разрешают этого сейчас, то следует серьезно рассмотреть возможность изменения этого подхода.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят многих лиц, которые оказали помощь в течение длительной подготовки статьи. Они особенно благодарны тем, кто участвовал в совещании в Вашингтоне 24 мая 1993 г., организованного рабочей группой: Джеймса Картера (компания «Рейтеон»), Стивена Хилдрета (Исследовательская служба Конгресса), Дэвида Исраэля (Организация обороны от баллистических ракет), Рика Джонса (ракетный полигон «Уайт-Сэндз»), Джорджа Льюиса (Массачусетский технологический институт), Теодора Постола (Массачусетский технологический институт), Стивена Стенвика (компания «Рейтеон»), Роберта Стейна (компания «Рейтеон»), Питера Циммермана (работавшего тогда в Центре стратегической и международной стабильности), Исраэля Джекобса (компания «Дженерал Электрик/ССО»), и Фрэнсиса Слэйки (Американское физическое общество/ССО). Авторы благодарят также Ричарда Гарвина, Кэролайн Херценберг, Вольфганга Панофски, Эндрю Сесслера, Рэндалла Симпсона, и Дина Уилкенинга, которые рассмотрели исходную рукопись этой статьи. За все оставшиеся ошибки отвечают только авторы.

ПОСТСКРИПТУМ

Один из авторов (О'Дин Джадд) имеет особое мнение по поводу предположений и технического анализа, разработанного Постолом и Льюисом, которое относится к правильности отождествления яркого объекта в облаке обломков «Скада» с боеголовкой, что использовалось ими для обоснования своих аргументов. Однако, он поддерживает общие выводы анализа в отношении полезности видеоданных и основной методологии, использованной Постолом и Льюисом при анализе большей части из этих данных, как описано в докладе. Полное разрешение вопроса может потребовать доступа к данным, которые в настоящее время не доступны общественности.

ПРИЛОЖЕНИЕ А ХРОНОЛОГИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАБОЧЕЙ ГРУППЫ

В состав рабочей группы ССО по «Патриоту» и противоракетной обороны на театре военных действий входили: Дэн Фенстермахер, Дэниэл Фишер, Рут Хоуэс, О'Дин Джадд, Роджер Спид, и Джереми Салливэн (председатель).

Рабочая группа была назначена Советом по связям с общественностью (ССО) Американского физического общества весной 1993 г. для анализа технических вопросов, лежащих в основе дебатов по эффективности «Патриота». ССО поручило рабочей группе провести анализ исследований, которые могло бы провести Американское физическое общество для разъяснения общественности проблемы эффективности «Патриота» и более общих технических вопросов, связанных с будущими американскими программами противоракетной обороны на театре военных действий. Деятельность рабочей группы была направлена на разъяснение технических вопросов, возникающих при обсуждении, и на определении тех областей, в которых участники дебатов не согласны по техническим вопросам.

Рабочая группа не предпринимала изучения эффективности «Патриота» в войне в Персидском заливе, и ей никто этого не поручал.

Члены рабочей группы ознакомились с обширной литературой, имеющей отношение к этим дебатам, и с планами программы улучшения «Патриота» и последующих систем ПРО ТВД, а также просмотрели соответствующие видеозаписи. 24 мая 1993 г. рабочая группа собрала однодневное совещание в Вашингтоне с участием технических представителей почти всех основных участников дебатов по «Патриоту». После этого совещания рабочая группа продолжала свою работу с участниками совещания и другими экспертами в попытках прояснить и разрешить возникающие технические проблемы.

6 ноября 1993 г. рабочая группа представила ССО доклад, сделав три рекомендации:

1. Рабочая группа рекомендует ССО назначить небольшую группу для подготовки короткой статьи по обсуждениям эффективности системы «Патриот» в войне в Персидском заливе, подходящей для публикации в техническом журнале. Целью статьи должно стать ознакомление членов АФО с деятельностью Совета по связям с общественностью в отноше-

нии важного вопроса общественной политики. (Данная статья представляет собой выполнение этой рекомендации.)

2. Рабочая группа рекомендует, чтобы АФО провело комплексное исследование эффективности системы «Патриот» в войне в Персидском заливе, если Администрация поручит ему эту работу, с предоставлением доступа к секретной базе данных падений и подразделений «Патриотов». Сравнение столкновений, общих для исследований Массачусетского технологического института и армии позволит выявить достоинства и ограничения базы данных и методологии, используемых в каждом исследовании. Можно будет сделать более определенные выводы, чем это возможно для каждого исследования по отдельности. Очевидно, что комплексное исследование можно будет провести только в сотрудничестве с правительством США, включая доступ к секретной базе данных, и помощь армии для ее понимания.

22 марта 1994 г. ССО направило письмо к тогдашнему директору оборонных исследований и технических разработок Аните Джоунс, отмечая готовность АФО провести комплексное исследование эффективности системы «Патриот» в войне в Персидском заливе для информирования будущих разработчиков ПРО ТВД. В ответе, полученном 17 мая 1994 г. от директора стратегических и космических систем Джорджа Шнейтера, говорилось, что Министерство обороны считает, что дальнейший независимый анализ эффективности «Патриота» не внесет существенных дополнений к пониманию возможностей и ограничений «Патриота» в войне в Персидском заливе и принесет мало пользы для будущих улучшений системы.

3. Рабочая группа рекомендует, чтобы АФО через ССО организовало широкое техническое исследование, направленное на вопросы, связанные с эффективностью будущих систем противоракетной обороны. Предлагаемая тема исследования такова: «предсказание и определение характеристик противоракетных систем театра военных действий». До сих пор по этой рекомендации не было предпринято никаких действий. Она продолжает рассматриваться ССО.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАКЕТЫ «ЭЛЬ-ХУСЕЙН»*

	Ракета с боеголовкой	Боеголовка
Сухая масса (кг)	2100	60
Стартовая масса (кг)	7000	300
Длина (м)	12,2	2
Диаметр (м)	0,88	0,88
Полный коэффициент торможения	0,2	0,09
Скорость входа (км/сек)	2,3	
Угол входа (градусы)	44	
Бета (кг/м ²)	17000	5500
Скорость удара (км/сек)	1,6	0,7
Кинетическая энергия удара (МДж)	2700	74
Энергия взрыва (МДж)		1100

*Сведения в открытой печати неодинаковы⁶². Приведенные выше данные следует считать номинальными.

⁶² «Ballistic Missile Proliferation: An Emerging Threat», Systems Planning Corporation, Arlington, VA, (October, 1992).