

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТ "ПАТРИОТ" ВО ВРЕМЯ ВОЙНЫ В ПЕРСИДСКОМ ЗАЛИВЕ 1991 ГОДА ПО ДАННЫМ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ВИДЕОСЮЖЕТОВ

*Джордж Н. Льюис и Теодор А. Постол*

Во время войны в Персидском заливе в 1991 году значительная часть атак иракских баллистических ракет SCUD американскими зенитными ракетами "Патриот" были засняты на видеоматрицы операторами информационных агентств. Эти видеосюжеты представляют собой уникальный и важный источник информации эффективности ракет "Патриот", который, однако был полностью проигнорирован Сухопутными войсками США при проведении оценки эффективности этого оружия. Во многих случаях видеосюжеты показывают промахи ракет "Патриот", а в некоторых случаях на них наблюдаются попадания "Патриотов" в ракеты SCUD, не сопровождающиеся разрушением боеголовок. В видеосюжетах имеется информация о свойствах целей SCUD, и других важных моментах (например, о взрывах боеголовок ракет "Патриот" на поверхности). Ни на одном из имеющихся у нас видеосюжетов не было обнаружено однозначного подтверждения уничтожения боеголовки SCUD ракетой "Патриот". Напротив, видеосюжеты содержат убедительные доказательства весьма низкой эффективности ракет "Патриот" и представляют информацию о характеристиках этого оружия, не согласующуюся с последними утверждениями Сухопутных войск США о том, что ракетами "Патриот" были уничтожены 52 процента атакованных ракет SCUD.

Джордж Н. Льюис и Теодор А. Постол работают по программе исследований по обороне и контролю над вооружениями Массачусетского технологического института, а Теодор Постол, кроме того, участвует в программе по науке, технике и обществу.

### ВВЕДЕНИЕ

Во время войны 1991 года в Персидском заливе около 80 модифицированных ракет SCUD, запущенных с территории Ирака, упали на территории Израиля и Саудовской Аравии. Сначала Сухопутные войска США утверждали, что ракетами "Патриот" по этим целям было нанесено 47 ударов; однако, эксперты Конгресса США отмечают, что последние данные Сухопутных войск США соответствуют несколько меньшей цифре. В Израиле было проведено 16 - 17 атак и в Саудовской Аравии - от 27 до 29.<sup>1</sup>

Во время войны и в следующие недели после нее Сухопутные войска США утверждали, что ракеты "Патриот" перехватили почти все ракеты SCUD (45 из 47, или 96 процентов). После этого их представители несколько раз снижали объявляемый процент эффективности ракет "Патриот" и самые последние сведения соответствуют величине, чуть меньшей 60 процентов (более 40 процентов в Израиле и более 70 процентов в Саудовской Аравии). По данным Сухопутных войск США, ракеты "Патриот" уничтожили 52 процента атакованных боеголовок, однако всего лишь 40 процентов успешных атак боеголовок<sup>2</sup> относятся к категории "наимышей уверенности".<sup>3</sup> Несмотря на то, что данные Сухопутных войск США до сих пор засекречены, они были проверены несколькими комиссиями Конгресса, которые нашли, что эти данные недостаточны для подтверждения заявлений ее представителей об эффективности ракет "Патриот".<sup>4</sup>

В оценках Сухопутных войск США полностью проигнорирован очень важный и несекретный источник информации о характеристиках ракеты "Патриот" - видеосюжеты атак ракет "Патриот" по ракетам SCUD, заснятые корреспондентами информационных агентств.<sup>5</sup> В этой статье мы обсудим, что можно уз-

нать об эффективности ракет "Патриот", изучая эти видеосюжеты. Мы представим сначала детальный анализ видеосюжетов о трех ночных ракетных атаках, проведенных в небе над Эр-Риядом 25 и 26 января 1991 года. После этого мы перейдем к обзору обзору наших исследований видеосюжетов информационных агентств, которые с очевидностью свидетельствуют об очень низкой эффективности ракет "Патриот" во время войны в Персидском заливе.

### ВИДЕОСЮЖЕТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ АГЕНТСТВ, НА КОТОРЫХ СНЯТЫ АТАКИ РАКЕТ SCUD РАКЕТАМИ "ПАТРИОТ"

Обсуждаемые видеосюжеты были сняты операторами телевидения в Эр-Рияде и Тель-Авиве, а также на большом аэродроме в Дахране (Саудовская Аравия).<sup>6</sup> Как правило, съемки производились из отелей, в которых проживали операторы.

Там, где это было возможно, мы старались использовать видеосюжеты, не отредактированные перед показом по телевидению; такие сюжеты были предоставлены нам телекомпаниями ABC News и WETA-TV в Вашингтоне.<sup>7</sup> Другие сюжеты были записаны непосредственно с телеэкранов и они, как правило, перед выходом в эфир были отредактированы. Кроме того, так как часть анализа была проведена по запросу Конгресса США, мы изучали видеосюжеты ракетных ударов из набора, предоставленного Конгрессу компанией Raytheon.<sup>8</sup> При проведении нашего анализа мы сравнивали полученную из видеосюжетов информацию с сообщениями корреспондентов по радио и в печати, а также с заявлениями официальных представителей правительств США, Израиля и Саудовской Аравии.

Видеосюжеты, которые мы рассматривали, содержат сведения более чем о половине всех ракет-

ных атак. В некоторых случаях на сюжете атаки наблюдались только частично. Вся история столкновения не могла быть записана из-за того, что операторы не могли быстро среагировать на начало атаки, или из-за того, что оператор поворачивал камеру на другой объект еще до окончания атаки, или из-за того, что часть картины столкновения была закрыта облаками. В Приложении А приведено краткое описание наиболее значительных событий, наблюдавшихся в видеосюжетах.

Мы детально рассмотрели 33 попытки перехвата в 18 боевых столкновениях. Под попыткой перехвата мы понимаем перехват ракеты SCUD одной ракетой "Патриот", а под столкновением - все попытки перехвата одной ракеты SCUD несколькими (или, в некоторых случаях, одной) ракетами "Патриот". В изученных нами столкновениях на одну ракету SCUD приходилось от одной до четырех ракет "Патриот". Проанализированные нами 33 попытки перехвата составили заметную часть всех попыток перехвата во время войны в Персидском заливе (около 38 процентов<sup>9</sup>).

В видеосюжетах телевизионных новостей содержится очень много полезной, важной и уникальной информации об эффективности ракет "Патриот" в войне в Персидском заливе.<sup>10</sup> На этих видеосюжетах наблюдалось много очевидных промахов ракет "Патриот" и много успешных попаданий в ракеты SCUD (не сопровождавшихся, тем не менее, разрушением их боеголовок). На них можно увидеть много примеров того, как боеголовки ракет SCUD, пораженных ракетами "Патриот", продолжали свое движение по траектории и взрывались у намеченной цели, и того, как ракеты "Патриот" пикировали на землю и взрывались там. Из этих видеосюжетов можно получить также много полезной информации о самих ракетах SCUD, например, об их разрушении во время входа в плотные слои атмосферы, или об их динамике во время входа в атмосферу (например, многие из ракет SCUD двигались в это время по спиральным траекториям).

Ограничения видеосюжетов информационного агентства. Обсуждаемые здесь видеосюжеты были засняты профессиональными видеокамерами,<sup>11</sup> а не телекамерами высокого разрешения, применяемыми на испытательных полигонах, и поэтому их использование сталкивается с рядом ограничений. Однако, как мы отмечали ранее, такие видеосюжеты способны принести информацию, имеющую критическое значение для оценки эффективности систем оружия в войне в Персидском заливе.

Одним из ограничений репортерских видеосъемок является то, что в большинстве случаев очень мало известно об условиях проведения съемок: где располагались операторы, куда были направлены телекамеры и при каком фокусном расстоянии проводились съемки. Кроме того, как правило, ориентация камер при съемках с рук или с плеча не оставалась постоянной, а непрерывно изменялась. И, наконец, видеоизображения дают лишь двумерную картину трехмерного события.

В будущих исследованиях указанные ограничения можно преодолеть за счет использования архивов телекомпаний и больших хранилищ видеосюжетов для того, чтобы выявить личности операторов для проведения дополнительных интервью с целью получения дополнительной информации (на-

пример, расположения камеры во время съемки). Данные, полученные из интервью, можно будет уточнить путем проведения точных видеосъемок с определенных мест камерами того же типа, которые применялись при съемках столкновений. Эти дополнительные видеосъемки позволят получить калибровочную информацию, полезную для интерпретации видеосюжетов столкновений "Патриот" и ракет SCUD во время войны в Персидском заливе. Вместе с данными о точках падения боеголовок ракет SCUD, большая часть которых до сих пор остается засекреченной, подобные новые данные позволят определить геометрию наблюдений попыток перехвата на видеосюжетах.

Другое ограничение связано с относительно широкой частотой кадров журналистской видеосъемки. На американском телевидении частота кадров составляет всего лишь 30 кадров в секунду, что приводит к неопределенности относительного положения огненного шара от взрыва боеголовки ракеты "Патриот" и ракеты SCUD. Горизонт взрыва образующийся при взрыве заряда боеголовки "Патриота" быстро тормозится окружающим воздухом (в течение примерно нескольких миллисекунд), пролетая не более пяти метров.<sup>12</sup> Неопределенность расположения центра огненного шара на первом видеокadre поэтому не превышает примерно пяти метров, а на последующих кадрах положение огненного шара остается практически неизменным. Это положение центра огненного шара можно считать опорной точкой отсчета для измерений. Тем не менее, на типичных высотах перехвата в 10 - 12 километров скорость движения ракеты SCUD составляет 2,0 - 2,2 км/сек, или примерно 70 метров на промежуток времени между кадрами.

Высокая скорость ракеты SCUD приводит к неопределенности оцениваемого положения ракеты в момент взрыва боеголовки "Патриота". Эта неопределенность возникает из-за того, что затвор видеокамеры открыт только в течение малой доли от общей продолжительности кадра в 0,033 секунды. Поскольку положение огненного шара от взрыва боеголовки стационарно, он будет наблюдаться в одной и той же точке независимо от того, в какое время кадра произошел взрыв. Однако, движущаяся ракета SCUD будет наблюдаться в том положении, которое соответствует моменту открытия затвора. Мы будем называть эту неопределенность "неопределенностью расположения детонации"; она равна перемещению ракеты SCUD между двумя моментами открытия затвора (приблизительно 70 метрам). Камера, однако, видит только компоненту движения ракеты в плоскости, перпендикулярной направлению оси камеры. Эта компонента определяется выражением  $(V/30) \sin \alpha$  - 70 sin  $\alpha$  метров, где  $V$  - скорость ракеты SCUD в метрах в секунду и  $\alpha$  - угол между осью камеры и вектором скорости ракеты.

Мы будем называть неопределенность расположения детонации, видимого на двумерном телевизионном экране "кажущейся неопределенностью расположения детонации", а соответствующую трехмерную величину - "реальной неопределенностью расположения детонации". Аналогичная терминология будет использоваться для обозначения других расстояний, таких, например, как расстояние промаха, двумерная проекция которых будет видна на телевизионном экране.

Многие эксперты утверждали, что ограничения

процедуры информации, получаемой из видеосюжетов. Таким образом, кадр 7с представлял собой третье изображение видеосюжета с эффективностью 7.

Для того, чтобы выделить определенные детали изображения, при обработке вводились некоторые изменения яркости, контрастности, цвета и насыщения. Например, в нашей статье эпизодов четыре кадра (кадры 5а, 5б, 5с и 5д) представляли с очень высокой контрастностью и яркостью по сравнению с последующими кадрами эпизода (кадры от 6а до 6с). Такие изменения параметров позволяют выделить как темные, так и светлые участки ракет. С помощью программы обработки видеосюжета (в дальнейшем будем называть ее программой) на компьютере не проводилось (за исключением отсеченных участков) никаких операций обработки видеосюжета. В целом видеосюжеты представляли собой важную и уникальную источник информации об эффективности и о возможности уязвимости ракет. Для того, чтобы выявить источник информации об эффективности ракет "Патриот", необходимо было провести анализ и сравнение на уровне кадра. В первую очередь необходимо было выявить, что другие кадры, которые были наравлены на некоторые ракетами "Патриот" были направлены на некоторые ракетами "Патриот" и ракету SCUD при перехвате самой ракеты. Видеосюжеты могут показать, что некоторые ракетами "Патриот" были направлены на ракетами "Патриот" и ракету SCUD, или факта попадания "Патриот" в ракету SCUD, или факта попадания "Патриот" в ракету SCUD при перехвате ракеты. Видеосюжеты могут быть использованы для определения факта попадания "Патриот" в ракету SCUD, или факта попадания "Патриот" в ракету SCUD при перехвате ракеты. Видеосюжеты могут быть использованы для определения факта попадания "Патриот" в ракету SCUD, или факта попадания "Патриот" в ракету SCUD при перехвате ракеты.

Эр-Патриот, 26 января 1991 года. Первое столкновение, которое мы обсуждаем, произошло в 10 часов 50 минут вечера по местному времени Эр-Рияда 26 января, когда ракета SCUD была атакована двумя ракетами "Патриот". Этот эпизод показан на видео-последовательностях от 1 до 4, которые построены по нечетким изображениям видеосюжету от записки первой ракеты "Патриот" до удара и вторая боеголовка ракеты SCUD. Видеосюжет этого эпизода начинается с записки ракеты "Патриот". Стандартные последовательности записки двух ракет по одной мигают с интервалом в три секунды. На кадре 1а мигают ракетой "Патриот" с очень медленным темпом. Камера отслеживает полет первой ракеты SCUD на фоне городских очертаний. Видеосюжет усложняется тем, что ракетой "Патриот" с очень медленным темпом мигают ракетой "Патриот" с очень медленным темпом. Камера отслеживает полет первой ракеты SCUD на фоне городских очертаний. Видеосюжет усложняется тем, что ракетой "Патриот" с очень медленным темпом мигают ракетой "Патриот" с очень медленным темпом.

В таких столкновениях, как это, не может быть ракетой "Патриот". Видеосюжет начинается с ракетой "Патриот" с очень медленным темпом. Камера отслеживает полет первой ракеты SCUD на фоне городских очертаний. Видеосюжет усложняется тем, что ракетой "Патриот" с очень медленным темпом мигают ракетой "Патриот" с очень медленным темпом.

Через две или три секунды после прекращения работы двигателя "Патриот" камера захватывает при этом столкновениях. Видеосюжет начинается с ракетой "Патриот" с очень медленным темпом. Камера отслеживает полет первой ракеты SCUD на фоне городских очертаний. Видеосюжет усложняется тем, что ракетой "Патриот" с очень медленным темпом мигают ракетой "Патриот" с очень медленным темпом.

неопределенность расположения детонации, не позволяющая использовать эти видеосюжеты для получения информации об эффективности ракет "Патриот". В тексте на стр. 6, выделенном рамкой, мы определяем алгоритм о том, что неопределенность расположения детонации не позволяет отличить часть промах от попадания. Прочие контрастные, такие, что видеосюжеты не позволяют определить, является ли ракета поврежденной, или нет. Прочие контрастные, такие, что видеосюжеты не позволяют определить, является ли ракета поврежденной, или нет. Прочие контрастные, такие, что видеосюжеты не позволяют определить, является ли ракета поврежденной, или нет.

Для того, чтобы проиллюстрировать методы анализа видеосюжетов и выделения из них частей новой информации, мы детально рассмотрим три боевые столкновения. Они произошли в Эр-Рияде 25 и 26 января 1991 года в ночное время. Эти три эпизода были выбраны из-за того, что в них представлены примеры трех основных типов наблюдаемых в видеосюжетах процессов боевого взаимодействия ракет SCUD и "Патриот": "очередные промахи" и два типа "перекрестий" ракет (понимая под "перекрестием" ситуацию, основывающуюся только на кажущихся как промахи, основывающуюся только на кажущихся как промахи, основывающуюся только на кажущихся как промахи, основывающуюся только на кажущихся как промахи).

Исследования, представляющие в этой статье, были получены с помощью системы видеосюжета. Видеосюжеты SCUD в первом боевом эпизоде "Патриот", но боеголовка ракеты SCUD не детонирует. Видеосюжеты SCUD в первом боевом эпизоде "Патриот", но боеголовка ракеты SCUD не детонирует. Видеосюжеты SCUD в первом боевом эпизоде "Патриот", но боеголовка ракеты SCUD не детонирует.

Исследования, представляющие в этой статье, были получены с помощью системы видеосюжета. Видеосюжеты SCUD в первом боевом эпизоде "Патриот", но боеголовка ракеты SCUD не детонирует. Видеосюжеты SCUD в первом боевом эпизоде "Патриот", но боеголовка ракеты SCUD не детонирует.

## Критика использования видеосюжетов

Многие эксперты и организации критиковали применение телевизионных видеосюжетов для оценки эффективности ракет "Патриот".<sup>13</sup> Их основной аргумент состоял в том, что неопределенность положения детонации, возникающая из-за малой частоты кадров при съемке информационных видеосюжетов, не позволяет определить, поразил "Патриот" ракету SCUD, или он промахнулся. Например, главный подрядчик по программе "Патриот", компания Raytheon, утверждает следующее: "Ни один анализ, проведенный компанией Raytheon, или по ее заказу, не смог изменить нашей уверенности в том, что стандартные телевизионные изображения не являются адекватным средством для определенного и научного определения успеха или неудачи перехвата ракеты SCUD "Патриотом" из-за малой частоты кадров."<sup>14</sup>

Наш контраргумент заключается в том, что во всех случаях, квалифицированных нами как очевидные промахи, кажущиеся расстояния промаха настолько велики, что неопределенность положения детонации не имеет никакого значения. Тем не менее, за одним примечательным исключением, критики продолжают утверждать, что поскольку неопределенность положения детонации существует, то невозможно отличить промахи от попаданий; они не пытаются соизмерить величину неопределенности с величиной промахов, наблюдаемых на телевизионном экране. Единственное исключение связано с Питером Циммерманом, который использовал оценку радиуса огненного шара при взрыве боеголовки "Патриота", равного восьми метрам, для измерения кажущегося расстояния промаха по видеосюжетам. После этого Циммерман сравнивал кажущееся расстояние промаха с неопределенностью положения детонации, равной примерно 70 метрам. Он пришел к выводу, что:<sup>15</sup>

*Когда кажущееся расстояние промаха, определенное по видеосюжету, не превышает пяти радиусов огненного шара (около 40 метров), то невозможно сделать никакого определенного утверждения об успехе или неудаче перехвата, если ограничиться только на расстоянии между центром огненного шара и боеголовкой ракеты SCUD. Исход может быть как успешным, так и неудачным, и анализ видеозаписи не может дать более точного ответа.*

*Если кажущееся расстояние промаха увеличивается от пяти до десяти радиусов огненного шара, то вероятность успеха "Патриота" постепенно уменьшается. Если кажущееся расстояние промаха превышает десять радиусов огненного шара, то вероятность перехвата в сфере поражения боеголовки становится достаточно малой для того, чтобы считать перехват неудачным даже на основании коммерческих видеосюжетов.*

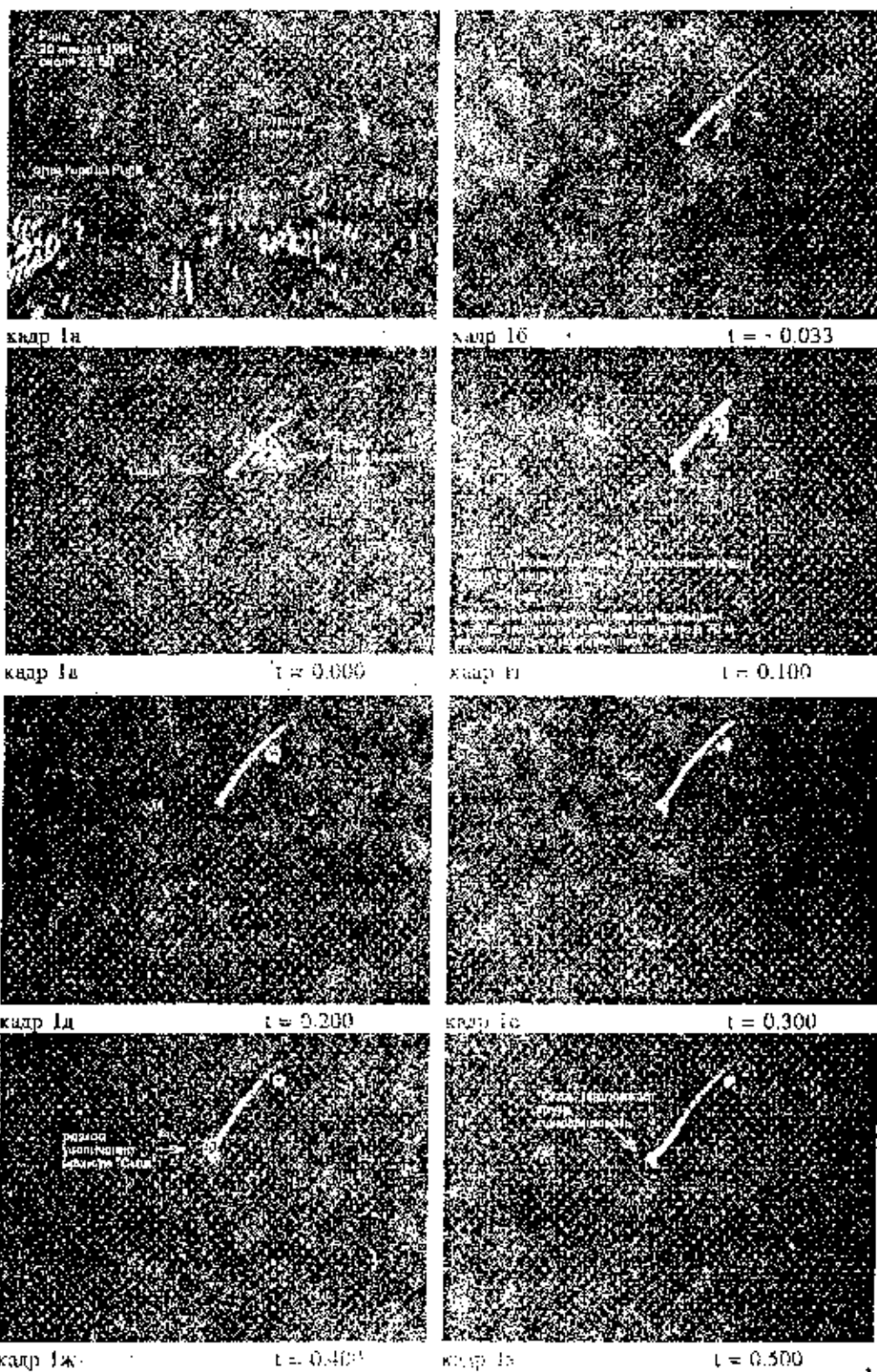
Поскольку расстояние промаха очень редко превышает десять радиусов перехвата, применение критерия Циммермана приводит к выводу, что информационные видеосюжеты не имеют серьезной ценности для определения успехов или неудач ракет "Патриот". Тем не менее, в аргументации Циммермана имеются два серьезных недостатка. Во-первых, как отмечается в Приложении Б, предполагаемый им радиус огненного шара слишком мал, возможно, даже на порядок величины. Если бы он использовал более точное значение радиуса огненного шара, то число видеосюжетов, на которых наблюдались очевидные промахи, было бы довольно большим.

Во-вторых, что более существенно, Циммерман сравнивал кажущееся расстояние промаха (которое всегда меньше реального) с максимально возможной неопределенностью положения детонации, равной примерно 70 метрам. Хотя он и использует для измерения кажущихся расстояний промаха свою оценку радиуса огненного шара, но (совершенно необъяснимо) он не применяет этот масштаб для измерения кажущейся неопределенности детонации. Эта величина меньше диаметра огненного шара во всех случаях, которые мы квалифицировали как очевидные промахи (см. табл. Б-2). Если бы Циммерман использовал свою оценку радиуса огненного шара в восемь метров для измерения кажущейся неопределенности положения детонации, то он получил бы, что величина неопределенности никогда не превышала бы восьми метров, а чаще всего она равнялась бы двум-трем метрам. Поэтому даже при использовании слишком малого радиуса огненного шара, кажущиеся промахи на видеосюжетах фактически были бы очевидными промахами.

ближающуюся ракету SCUD. В этот момент до удара боеголовки о поверхность осталось около 14 секунд, ракета находилась на высоте около 13 километров и двигалась со скоростью около 7М (около 2,0 - 2,2 километра в секунду). Торможение в атмосфере приводило к энерговыделению в десятки мегаватт, около 10 процентов от которых передавалось самой ракете, а оставшиеся 90 процентов уносились воздушным

поток. Это означало, что корпус ракеты нагревался тепловой мощностью в несколько мегаватт до столь высоких температур, что его можно было свободно наблюдать видеокamerой, работающей в диапазоне видимого излучения.

Через полторы секунды после того, как камера захватила ракету SCUD, боеголовка первого "Патриота" взорвалась. На кадре 1b показана летящая ра-



Результаты работы видеокамер 3

Ор-Рилис, 26 января 1991 года. Первая из двух ракет "Патриот" премакнулась по ракете SCLD. Время в секундах отсчитывается от момента догона для боеголовки "Патриота".

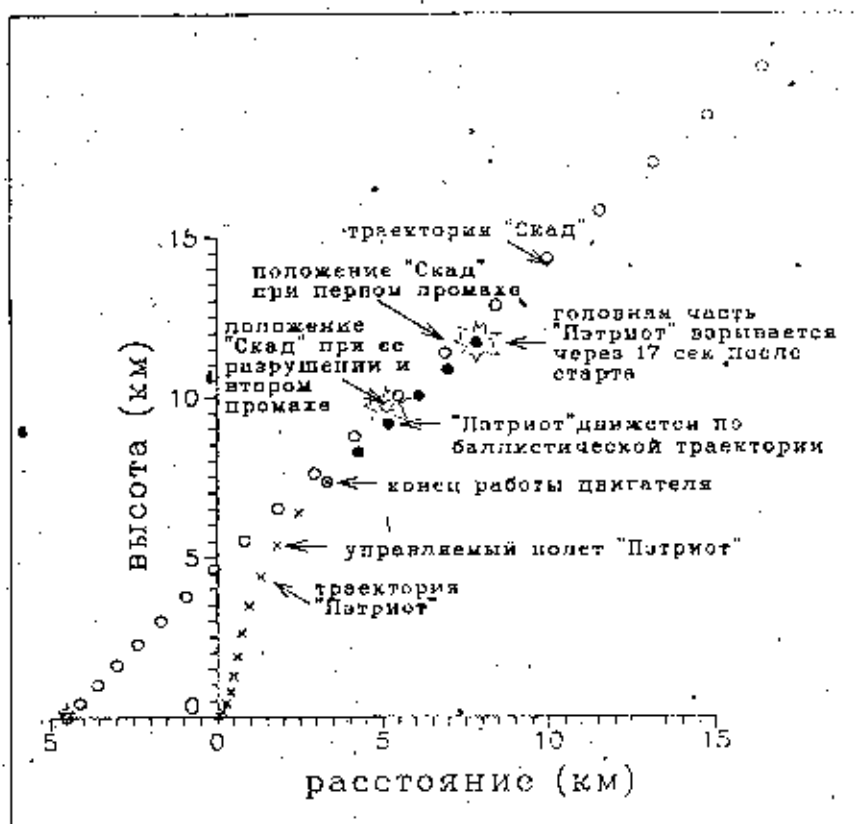


Рисунок 1

Оценка временной последовательности событий и зависимости дальности от высоты для боевого столкновения в Эр-Рияде 26 января 1991 года. Этот график является приблизительным, поскольку на видеосюжетах можно наблюдать только двумерную картину. График построен в предположении, что траектории обеих ракет "Патриот" были одинаковы. Интервал времени между двумя символами равен одной секунде.

кета SCUD на следующем кадре после взрыва боеголовки.<sup>22</sup> За ярким изображением самой ракеты наблюдается светящийся след, который, скорее всего, представляет собой раскаленные обломки ракеты SCUD, разрушающейся в результате атмосферного торможения. Форма светящегося следа ясно показывает, что ракета SCUD выполняла или выполняет крутой поворот.

Кадр 1с представляет собой следующее видеоизображение, полученное через 0,033 секунды. На нем виден огненный шар от взрыва боеголовки "Патриота". Система "Патриот" стремится приблизить взрыв своей боеголовки как можно ближе к боеголовке цели, чтобы повысить вероятность поражения боеголовки цели одним или несколькими осколками и ее детонации. Расстояние от боеголовки цели, на котором вероятность удара осколком от боеголовки "Патриота" остается достаточно высокой, называют эффективным радиусом поражения. Согласно данным Главного финансового управления, для того, чтобы вероятность уничтожения боеголовки ракеты SCUD была высокой, "ракета "Патриот" должна взорваться в нескольких метрах от боеголовки ракеты SCUD".<sup>23</sup> Тем не менее, как мы увидим в Приложении В, радиус поражения сильно зависит от геометрии перехвата. Например, если скорость осколков "Патриота"

составляет 2,5 км/сек, что меньше скорости сближения ракет SCUD и "Патриот", то взрыв позади ракеты SCUD не приведет к уничтожению ее боеголовки.

Яркий светящийся огненный шар от взрыва боеголовки "Патриота", отчетливо видимый на кадре 1с, располагается далеко за самой ракетой. Следует отметить, что наблюдаемые на видеоизображениях огненные шары не являются облаками горячего светящегося газа, а представляют собой сложную смесь горячего газа, дыма, осколков боеголовки и обломков цели. Как обсуждается в Приложении В, наблюдаемые в телевизионных видеосюжетах огненные шары от взрывов боеголовки "Патриота" довольно велики, и их кажущийся диаметр примерно равен 100 метрам. Следовательно, наблюдаемый радиус огненного шара значительно больше, чем радиус поражения цели осколками, и поэтому детали распределения разлетающихся осколков боеголовки "Патриота" совершенно несущественны для анализа попыток перехвата, в которых изображения огненных шаров не перекрываются с изображениями целей.

На следующих пяти кадрах (от 1d до 1h) представлены каждые третьи из последовательных видеоизображений, интервал времени между которыми равен 0,1 секунды. На этих кадрах видно, что

ракета SCUD, по всей видимости, удаляется от места попытки перехвата неповрежденной.

Анализ этой попытки перехвата начинается с появления огненного шара от взрыва "Патриота", который, как отмечалось ранее, быстро тормозится от атмосферного трения. Принимая центр огненного шара за неподвижную точку отсчета, мы можем измерить на телевизионном экране кажущееся расстояние промаха (расстояние между ракетой SCUD и огненным шаром "Патриота" на первом видеокadre, на котором появился огненный шар), а также расстояние, на которое ракета SCUD перемещается между отдельными видеокadreми.<sup>24</sup> Последнее расстояние особенно важно, поскольку, как отмечалось ранее, оно соответствует кажущейся неопределенности положения детонации из-за кадровой развертки видеопередачи.

Последовательность видеокadreов 1 показывает, на примере наблюдавшейся попытки перехвата, что неопределенность положения детонации не мешает нам определить факт промаха "Патриота". Мы обнаружили, что кажущееся расстояние промаха примерно в 9 раз больше кажущейся неопределенности положения детонации. Поэтому обусловленная малой частотой кадров неопределенность положения ракеты SCUD составляет лишь малую часть от кажущегося расстояния промаха. Поэтому кажущийся промах на последовательности видеокadreов 1 является на самом деле реальным промахом и мы относим эту попытку перехвата к категории "очевидных промахов". Читатель может проверить наши выводы, проведя измерения на представленных кадрах последовательности видеокadreов 1.<sup>25</sup>

Во всех случаях перехвата, отнесенных нами к категории "очевидных промахов", кажущееся расстояние промаха по меньшей мере в три раза больше кажущейся неопределенности положения детонации, а во многих случаях - намного больше (в среднем - в десять раз).

Как отмечалось ранее, мы не можем непосредственно преобразовать кажущееся (на телевизионном экране) расстояние промаха в реальное расстояние промаха, потому что движение изображения на экране соответствует не реальной скорости ракеты  $V$ , а ее проекции  $V \sin \alpha$ , а угол  $\alpha$ , как правило, неизвестен. Тем не менее, как видно из последовательности видеокadreов 1, боеголовка "Патриота" взорвалась в следе ракеты SCUD, или вблизи него (или там, где ракета проходила бы, если бы не двигалась по спиральной траектории),<sup>26</sup> так что к обним кажущимся величинам (расстоянию промаха и неопределенности положения детонации) должен быть приложен один и тот же поправочный коэффициент  $\sin \alpha$ . В этом случае при скорости перехвата в 70 метров за кадр (или около 2 км/сек) реальное расстояние промаха составит примерно 9-70 = 630 метров. Такой большой промах может указывать на то, что взрыв боеголовки произошел в результате самоуничтожения ракеты после промаха по цели.<sup>27</sup>

Если предположение о взрыве боеголовки "Патриота" в следе ракеты SCUD не верно, то расстояние промаха должно быть скорректировано множителем  $\sin \alpha$ . Как обсуждается в Приложении Б, типичные значения  $\sin \alpha$  лежат в пределах от 0,1 до 0,6 (что соответствует углам от 6° до 37°). Даже в этом случае реальное расстояние промаха намного больше радиуса поражения боеголовки "Патриота" и слиш-

ком велико для того, чтобы оказать какое либо влияние на ракету SCUD.

*Разрушение ракеты SCUD.* На последовательности видеокadreов 2 показано последующее движение ракеты SCUD с интервалом между кадрами в 0,1 секунды (за исключением кадра 2h, отделенного от кадра 2g интервалом в 0,067 секунды). Постоянно присутствующий светящийся след ракеты свидетельствует о движении по спиральной траектории с периодом около 1 секунды. Таким образом, на конечном участке траектории ракета SCUD испытывает заметное поперечное ускорение, что значительно усложняет ее перехват.

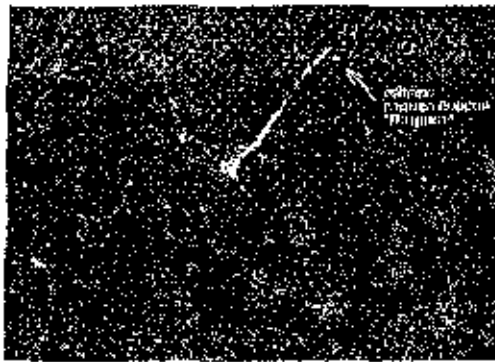
Скорее всего, маневры ракеты SCUD вызваны неустойчивостью, появившейся в полете ракеты в результате произведенных в Ираке доработок конструкции с целью увеличения ее дальности.<sup>28</sup> Обусловленные этими маневрами аэродинамические силы, вместе с обычным торможением в плотных слоях атмосферы, наряду с плохим качеством доработок конструкции в Ираке, приводили к разрушению ракет на высотах около 10 километров или несколько выше.

Типичный процесс разрушения ракеты SCUD иллюстрируется последовательностью видеокadreов 1, 2, 3.<sup>29</sup> Первым явным признаком начала разрушения можно считать увеличение яркости ракеты на кадре 1g. Вариации яркости продолжались на последовательности видеокadreов 2, а начало образования яркого облака обломков можно наблюдать на кадре 2e. На кадрах 2f и 2h можно видеть два объекта, обогнавших яркое облако. Как мы увидим далее, левый объект - это компактная секция ракеты SCUD с ее боеголовкой, которая продолжает двигаться с высокой скоростью, в то время как облако обломков быстро тормозится атмосферой. На кадре 2h показана ситуация за один кадр до взрыва боеголовки второй ракеты "Патриот".

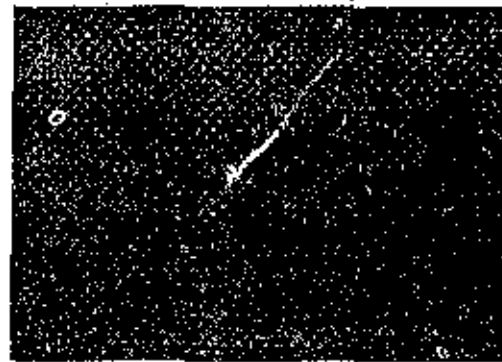
*Второй промах "Патриота".* На последовательности видеокadreов 3 показана попытка перехвата ракеты SCUD второй ракетой "Патриот". Кадр 3a - это повторение кадра 2h (последний кадр перед взрывом боеголовки второй ракеты "Патриот"), а на кадре 3b показан взрыв боеголовки. Огненный шар взрыва второй боеголовки накрывает оба объекта, выходящих из облака обломков. Мы классифицируем попытку перехвата, в которой ракета SCUD не может быть видна на первом кадре после взрыва боеголовки "Патриота", как "наложенные огненные шары".

Наложение огненных шаров само по себе не может указывать на успех попытки перехвата, поскольку, как обсуждается в Приложении Б, кажущийся размер огненного шара взрыва намного больше радиуса поражения боеголовки. Поэтому перекрытие огненного шара не может с необходимостью (или даже с какой-то степенью вероятности) указывать на поражение боеголовки. Для определения последствий попытки перехвата следует детально исследовать поведение цели после перекрытия огненных шаров.

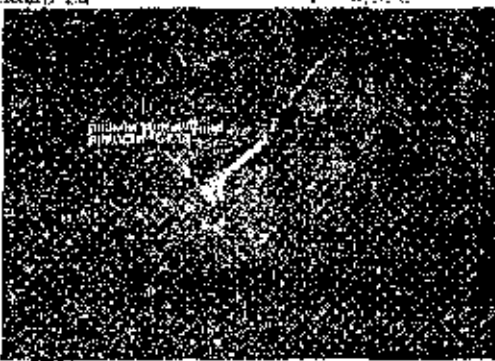
На кадрах с 3c по 3h показаны события после взрыва второй боеголовки с интервалом времени в 0,1 секунду. Из них видно, что левый из двух объектов, отделившийся от облака обломков, продолжает падать без видимых последствий от попытки перехвата. Через 11 секунд после взрыва второй боеголовки этот объект - боеголовка ракеты SCUD -



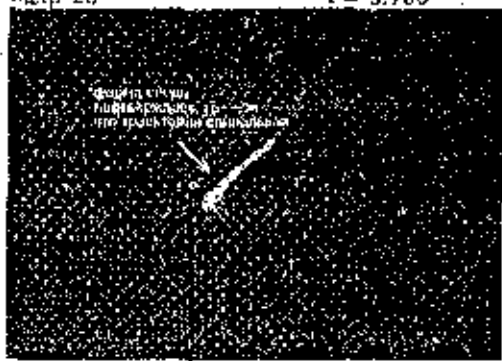
t = 0.600



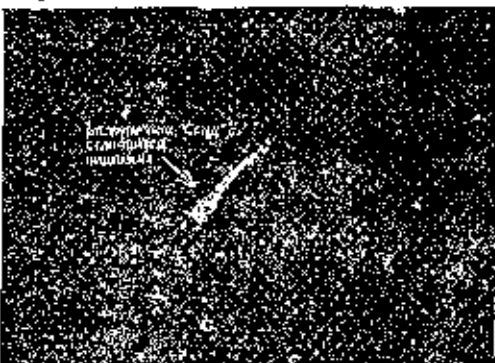
t = 0.700



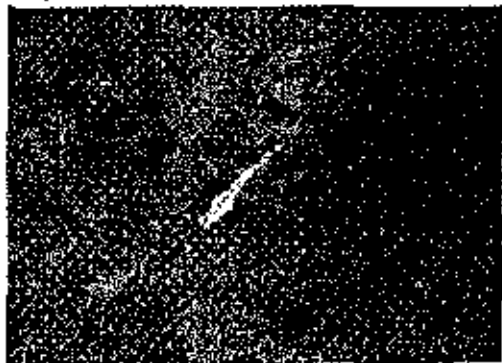
t = 0.800



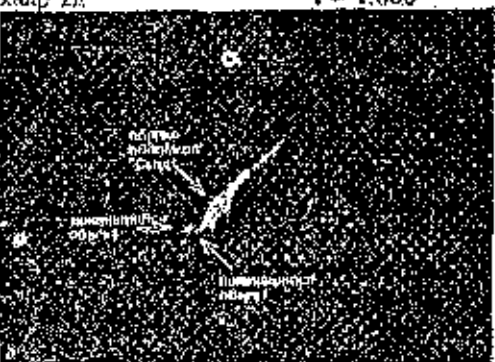
t = 0.900



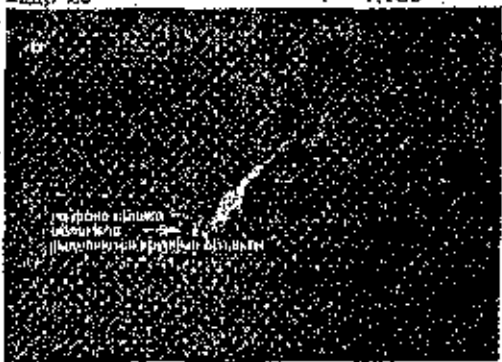
t = 1.000



t = 1.100



t = 1.200

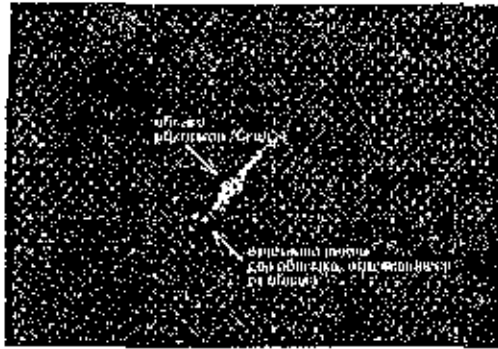


t = 1.267

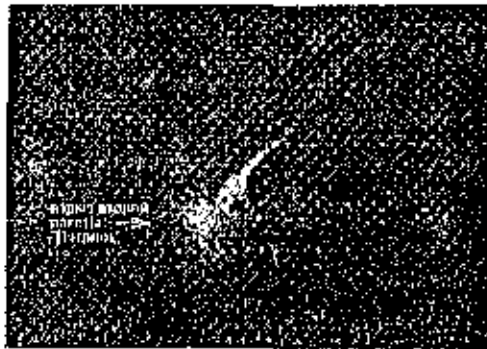
### Последовательность видеок кадров 2

Эр-Рияд, 26 января 1991 года. Ракета SCUD разрушилась в воздухе под действием аэродинамических сил, а ее боеголовка вышла из облака обломков.

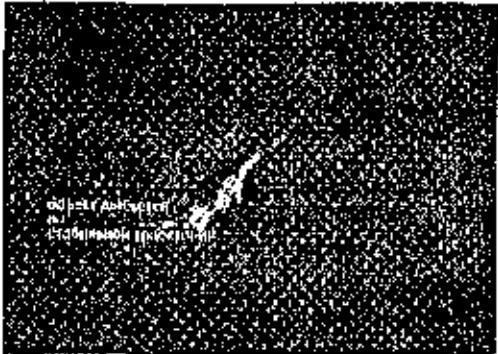




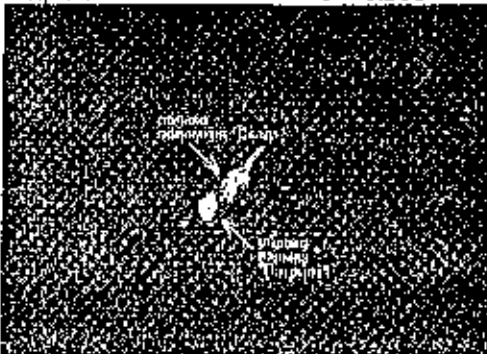
кадр 3а t = 1.267



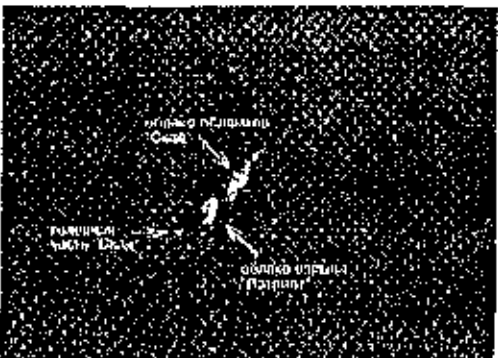
кадр 3б t = 1.300



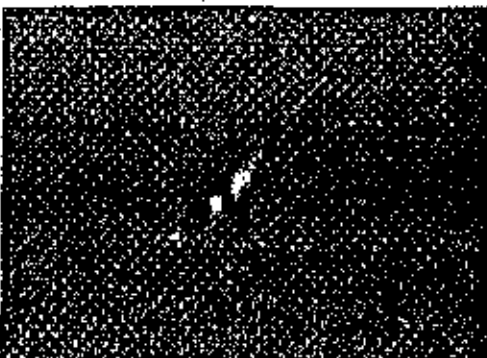
кадр 3в t = 1.400



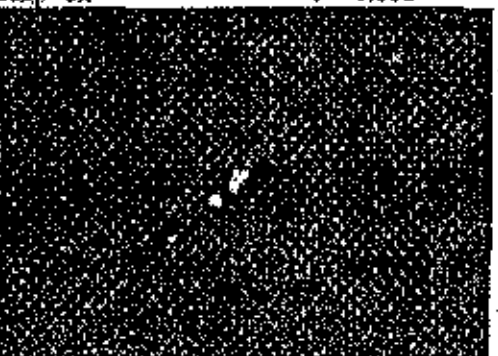
кадр 3г t = 1.500



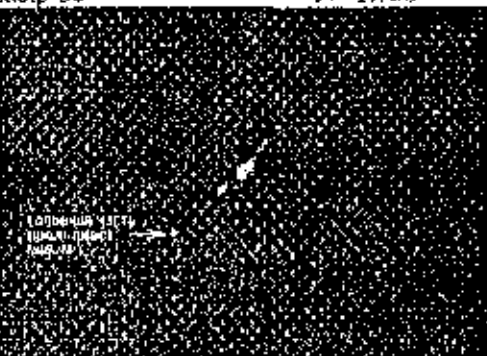
кадр 3д t = 1.600



кадр 3е t = 1.700



кадр 3ж t = 1.800



кадр 3з t = 1.900

Последовательность видеокадров 3

Эр-Рияд, 26 января 1991 года. Взорвалась боеголовка второй ракеты "Патриот" и огненный шар перекрыл кажущееся положение боеголовки ракеты SCUD, которая, однако продолжала лететь дальше.

ушел на поверхность, произошла яркая вспышка и образовался большой огненный шар.<sup>30</sup> Удар боеголовки ракеты SCUD по земной поверхности и ее взрыв показаны на последовательности видеокадров 4.

На кадрах 4а и 4б показано падение боеголовки на землю. Кадр 4с предшествует взрыву; сама боеголовка скрыта наземными огнями. Свечение начальной стадии взрыва боеголовки можно увидеть на кадре 4с. На следующем кадре 4е наблюдается большой огненный шар и область диффузного рассеянного излучения. Через 0,5 секунды после взрыва (кадр 4г) область рассеянного света уменьшилась настолько, что становится виден четкий ограниченный огненный шар.<sup>31</sup> Высота области огненного шара равна 35 метрам, а ее диаметр - примерно 100 метрам.<sup>32</sup> Огненный шар боеголовки ракеты SCUD на изображении выглядит намного большим, чем огненный шар боеголовки "Патриот", поскольку, во-первых, в ней содержится в несколько раз больше взрывчатого вещества, и, во-вторых, место взрыва этой боеголовки находится намного ближе к телекамере. Даже через две секунды после взрыва остатки огненного шара остаются видимыми (см. кадр 4н).

Как сообщил телекорреспондент, боеголовка взорвалась на дустере и не привела к ожогам и разрушениям.<sup>33</sup> Общее время столкновения, от запуска первой ракеты "Патриот" до удара и взрыва боеголовки SCUD, составило 31 секунду.

Таким образом, в этом боевом столкновении по ракете SCUD были выпущены две ракеты "Патриот". Первая ракета промахнулась и пролетела на большом расстоянии от боеголовки. Вторая ракета взорвалась на сравнительно небольшом расстоянии от боеголовки и видимый на изображении огненный шар перекрыл изображение боеголовки. Тем не менее, боеголовка не была уничтожена и продолжила двигаться по своей траектории и в конце концов взорвалась на земной поверхности. По-видимому, сухопутные войска США расценили это боевое столкновение как успешное.<sup>34</sup>

Эр-Рияд, 25 января 1991 года - первое столкновение. Мы подробно обсудим еще два столкновения, случившихся вблизи Эр-Рияда ночью 25 января 1991 года в интервале 10 - 15 секунд. Согласно всей имеющейся открытой информации, этой ночью по Эр-Рияду было выпущено всего две ракеты SCUD, и по обеим из них были произведены залпы ракетами "Патриот".

*Различные точки съемок.* Первое из двух столкновений, в котором была использована одна ракета "Патриот", было заснято с трех различных положений.<sup>35</sup> При восстановлении картины столкновения мы использовали два видеосюжета.<sup>36</sup>

Место съемки первого видеосюжета неизвестно. Этот сюжет начинается с запуска ракеты "Патриот". До встречи с ракетой SCUD и взрыва боеголовки ракета "Патриот" пролетела около 9,3 - 9,4 секунды. Перехват происходил на сравнительно малой высоте и в момент взрыва боеголовки двигатель "Патриота" еще работал.<sup>37</sup>

Второй видеосюжет был снят с точки рядом с отелем "Эр-Рияд Марриот" в Эр-Рияде (к сожалению, съемка происходила на фоне света уличных фонарей). Видеосюжет начался незадолго до взрыва боеголовки "Патриота" и не включал в себя запуск ракеты и большую часть ее траектории.

*Детонация "Патриота".* На последовательности видеокадров 5 показан взрыв боеголовки "Патриота" и три предшествующих ему видеозображения, наблюдавшиеся с обеих точек съемки. Кадры 5а и 5б получены с неизвестной точки съемки, а кадры 5е и 5н - с камеры в отеле "Эр-Рияд Марриот". На видеосюжете ракета "Патриот" движется вертикально вверх, а ракета SCUD движется вниз.

На обеих камерах видно, что кажущееся положение взрыва боеголовки "Патриота" очень близко к кажущемуся положению ракеты SCUD и, так же, как и во второй попытке перехвата 26 января, огненный шар взрыва боеголовки перекрывает положение ракеты SCUD (и мы классифицируем эту попытку перехвата как "перекрывание огненным шаром"). Однако, в этом случае взрыв боеголовки оказал существенное влияние на последующее поведение цели.

На последовательности видеокадров 6 показаны события после выхода цели из огненного шара, заснятые камерой с неизвестного положения.<sup>38</sup> Кадр 6а был получен непосредственно перед взрывом боеголовки, но из-за установленных параметров яркости и контрастности в видеопоследовательности 6 на этом кадре не видны ни ракета "Патриот", ни ракета SCUD.<sup>39</sup> На кадре 6б показан взрыв боеголовки (та же самая картина, что на кадре 5д, за исключением других параметров яркости и контрастности). На кадрах 6с - 6о показаны следующие 13 видеокадров, разделенных интервалом времени в 0,033 секунды.

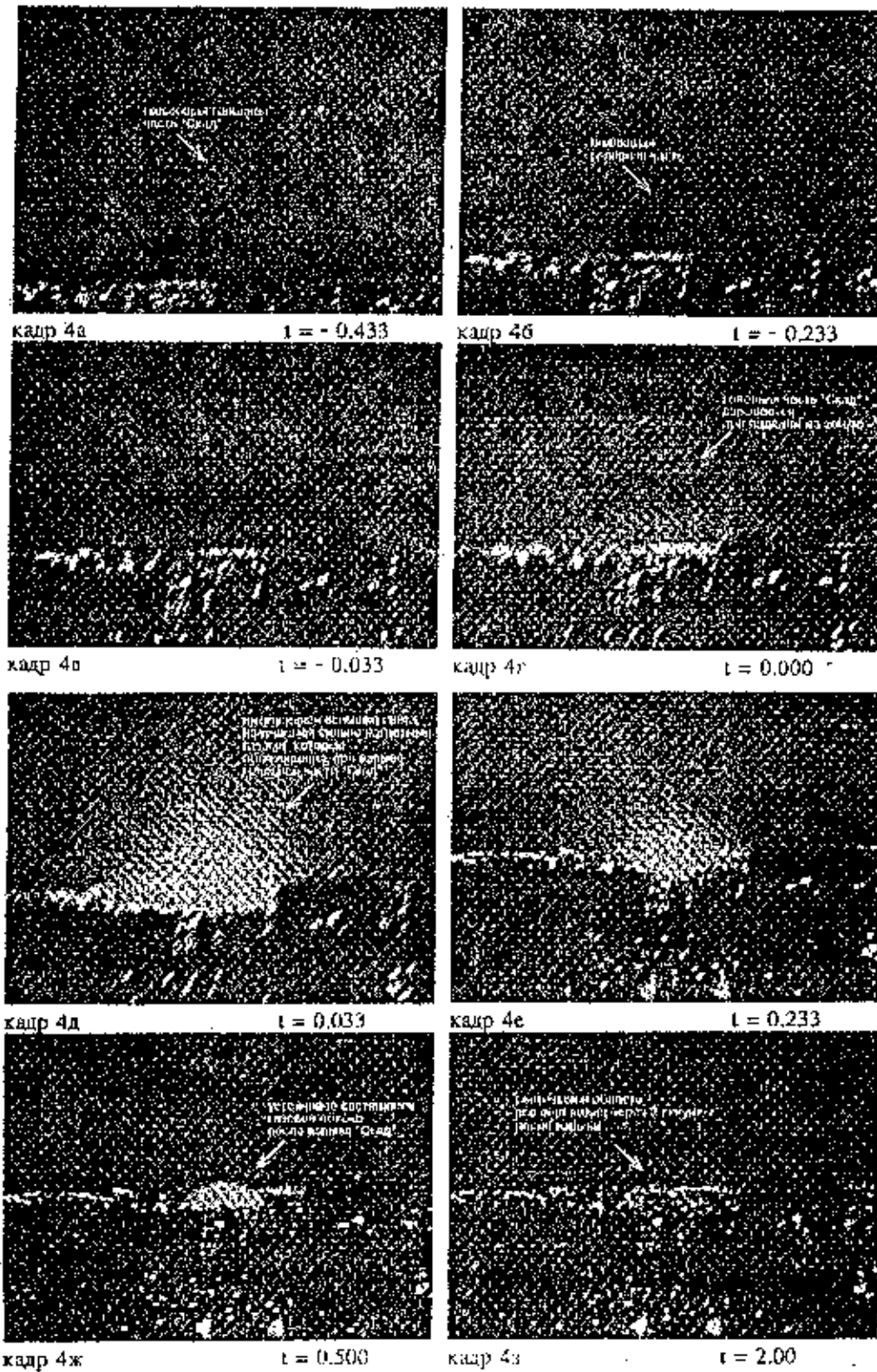
Начиная с кадра 6д, ракета SCUD становится видимой как отдельная яркая точка ниже центра огненного шара от взрыва боеголовки, хотя она еще перекрывается с огненным шаром (на последовательности видеокадров 7 это событие показано более подробно). По мере движения ракеты SCUD вниз расстояние от центра огненного шара увеличивается и, начиная с кадра 6г, она наблюдается как отдельная яркая точка ниже огненного шара. Очевидно, что после попытки перехвата яркость ракеты SCUD на видеозображении заметно возросла.

На кадре 6н, через 0,2 секунды после взрыва боеголовки, яркость ракеты SCUD еще раз внезапно увеличилась и еще больше возросла на кадре 6і. После этого яркость объекта стала уменьшаться и через 0,5 секунды после взрыва боеголовки он исчез из вида. Более того, после вспышки ракеты SCUD прекратилось ее кажущееся движение относительно центра огненного шара (расстояние между ними не менялось между кадрами 6н и 6п). Это означает, что в это время образовалась облака обломков ракеты, быстро затормозившиеся в атмосфере.

На последовательности видеокадров 7 показаны увеличенные изображения выхода ракеты SCUD из огненного шара и ее вспышки. Кадр 7а совпадает с кадром 6с (один кадр после взрыва боеголовки) и показан в увеличенном виде как кадр 7а(М). Кадры 7б(М), 7с(М) и 7д(М) представляют собой увеличенные версии кадров 6е, 6г и 6і. Выход ракеты SCUD из огненного шара и ее последующая вспышка (или взрыв) ясно видны на кадрах 7с(М) и 7д(М).

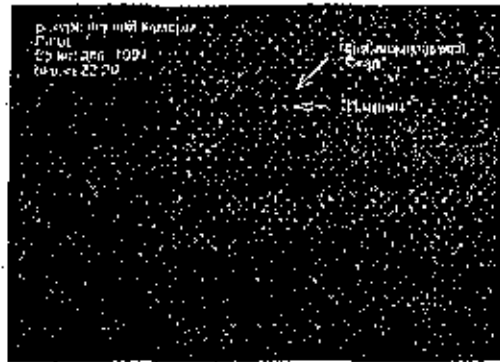
*Интерпретация видеосюжетов.* Мы полагаем, что последовательность рассмотренных событий подтверждает факт попадания ракеты "Патриот" в ракету SCUD, не сопровождавшийся, однако, разрушением ее боеголовки.

Что мы должны ожидать при поражении "Патриотом" ракеты SCUD и взрыве ее боеголовки? Взрыв

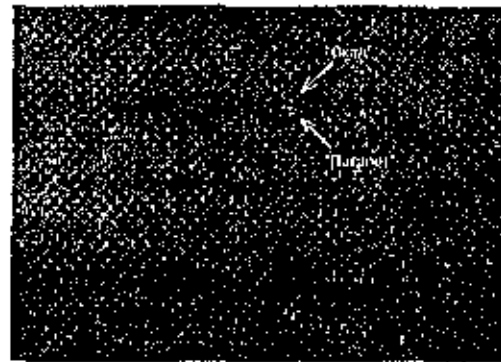


Последовательность видеок кадров 4

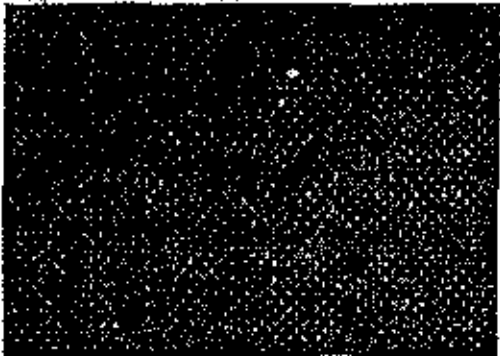
Эр-Рияд, 26 января 1991 года. Боеголовка ракеты SCUD приземлилась на землю. Время в секундах отсчитывается от момента детонации боеголовки ракеты SCUD.



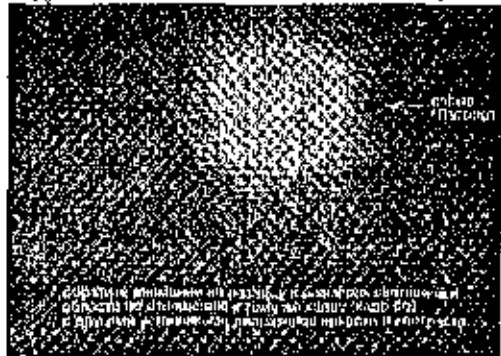
кадр 5а  $t = -0.100$



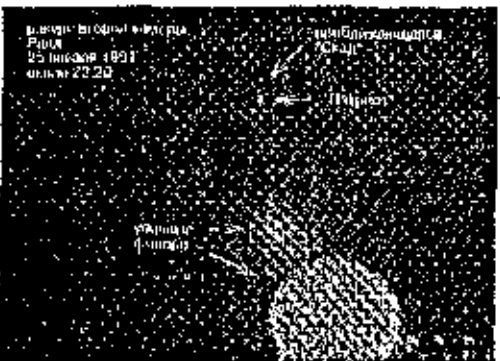
кадр 5б  $t = -0.067$



кадр 5в  $t = -0.033$



кадр 5г  $t = 0.000$



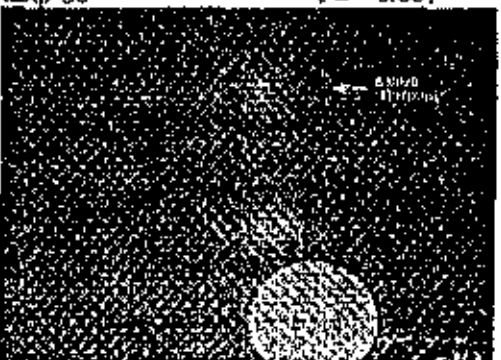
кадр 5д  $t = -0.100$



кадр 5е  $t = -0.067$



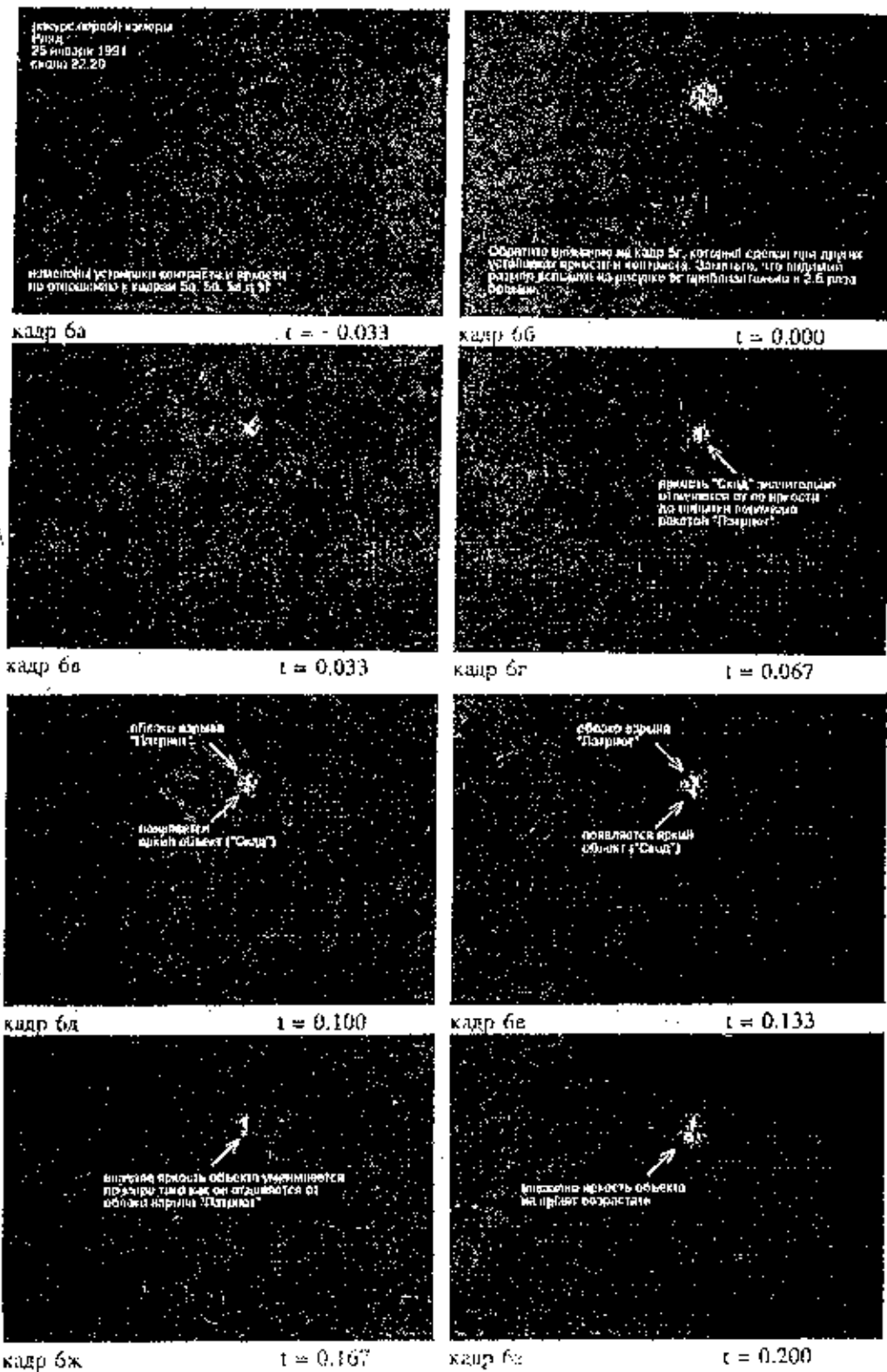
кадр 5ж  $t = -0.033$



кадр 5з  $t = 0.000$

Последовательность видеокадров 5

Эр-Рияд, 25 января 1991 года, первая ракета SCUD. Попытка перехвата снималась двумя разными камерами. Огненный шар от взрыва боеголовки "Патриота" перекрыл ракету SCUD. Время в секундах отсчитывается от момента детонации боеголовки "Патриота".



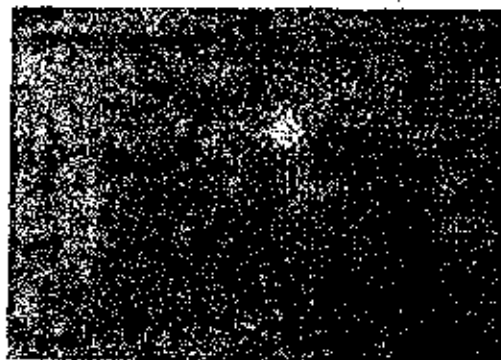
Последовательность видеоскадров 6

Эр-Рияд, 25 января 1991 года, первая ракета SCUD. Цель явилась из огненного шара со значительно возросшей яркостью, которая сначала возросла еще больше, а затем существенно уменьшилась, пока цель не исчезла из вида. Время в секундах отсчитывается от момента detonации боеголовки "Патриота".



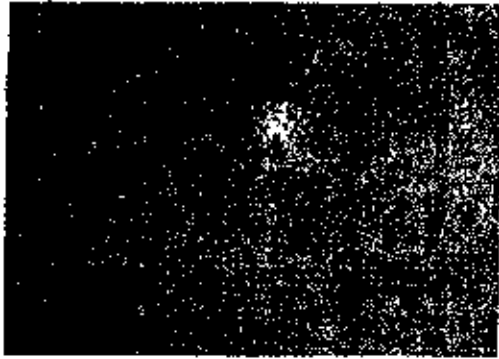
кадр бн

$t = 0.233$



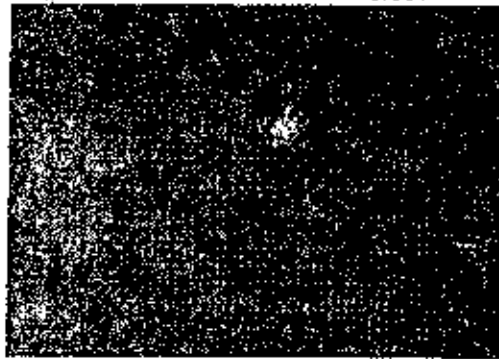
кадр бк

$t = 0.267$



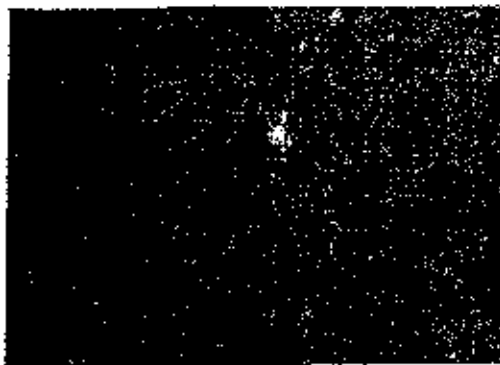
кадр бл

$t = 0.300$



кадр бм

$t = 0.333$



кадр бн

$t = 0.367$



кадр бо

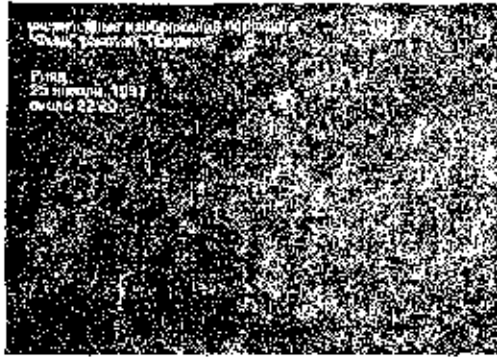
$t = 0.400$



кадр бн

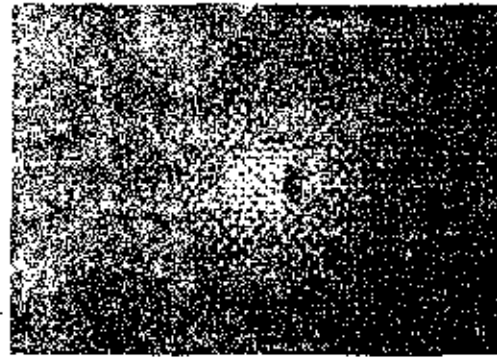
$t = 0.433$

Продолжение последовательности видеок кадров 6

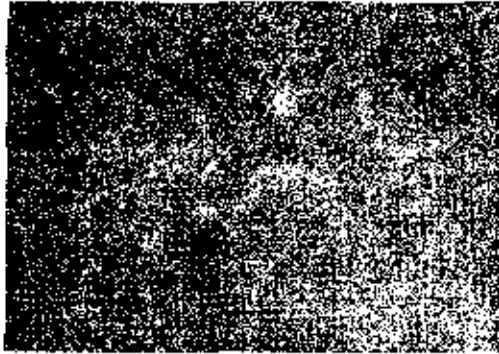


кадр 7а

$t = 0,033$

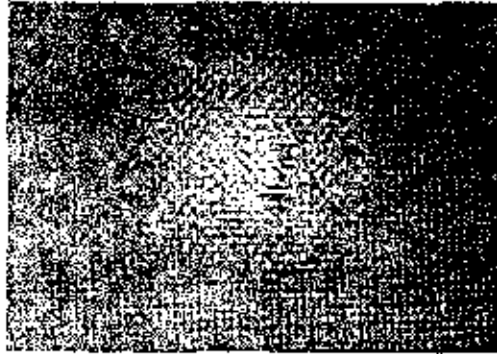


увеличенный кадр 7а (У)

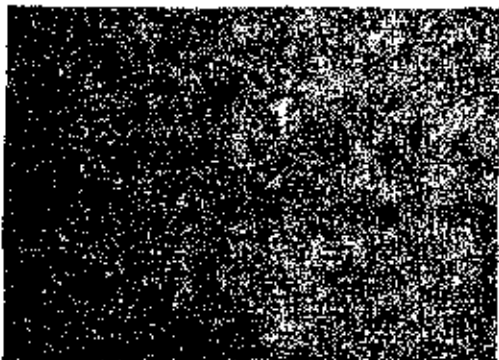


кадр 7б

$t = 0,100$



увеличенный кадр 7б (У)

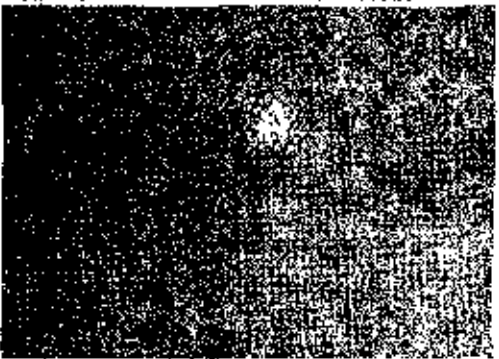


кадр 7в

$t = 0,167$

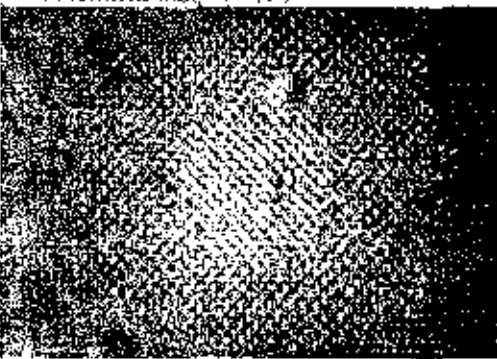


увеличенный кадр 7в (У)



кадр 7г

$t = 0,233$



увеличенный кадр 7г (У)

После видеокадра показаны видеокадры 7

Эр-Рэнд, 25 января 1991 г., д. терман ракет 8000. Отдельные изображения из последовательности видеокадров б увеличены для того, чтобы было видно продемонстрировать выход цели из основного кадра в результате увеличения ее яркости.

боеголовки ракеты SCUD должен разорвать ее корпус на большое число осколков и сильно повредить другие части ее конструкции, которые после этого должны разрушиться при аэродинамическом торможении. Такое событие не может проявляться как выход одиночного выделенного объекта из огненного шара, который будет продолжать двигаться по баллистической траектории. Кроме того, взрыв боеголовки и разрушение корпуса ракеты должны сопровождаться немедленным формированием облака осколков. Это облако должно быстро тормозиться в атмосфере; аналогично огненному шару от взрыва боеголовки "Патриота". Если бы боеголовка ракеты SCUD взорвалась сразу же после перехвата, это событие было бы неотличимо от взрыва боеголовки "Патриота" и образования огненного шара.<sup>40</sup> И, наконец, в этом случае не было бы связанного со столкновением взрыва на земной поверхности.<sup>41</sup>

Показанная на последовательности видеок кадров 6 попытка перехвата обладает многими из указанных выше особенностей, но в других отношениях она является уникальной. Очевидно, что боеголовка ракеты SCUD не взорвалась сразу же после взрыва боеголовки "Патриота", поскольку ракета SCUD продолжала двигаться вниз еще в течение 0,2 секунды, хотя повышенная яркость ракеты SCUD указывала на то, что она была поражена и повреждена. Задержанный взрыв боеголовки ракеты SCUD маловероятен, но возможен. Последующее образование огненного шара (или облака обломков) ракеты SCUD, наблюдавшееся в видеосюжете, также отличается от того, которое следовало ожидать при взрыве ее боеголовки, и в некоторых аспектах очень похоже на разрушение ракеты. Увеличение яркости этого объекта наблюдается на протяжении двух или трех видеок кадров, в то время как яркость огненного шара от взрыва боеголовки максимальна на первом кадре. Тем не менее, взрыв боеголовки также может привести к наблюдаемой на последовательности видеок кадров 6 временной эволюции яркости огненного шара при соответствующем временном сдвиге моментов открытия затвора видеокамеры по отношению к моменту взрыва.<sup>42</sup>

Тем не менее, можно найти еще одно объяснение событиям, наблюдаемого на последовательности видеок кадров 6. Попытка перехвата, не сопровождавшаяся повреждением боеголовки ракеты SCUD, может, однако, привести к частичному или полному разрушению корпуса самой ракеты. Любая попытка перехвата, которая приведет к заметному повреждению корпуса, должна изменить его аэродинамические характеристики, изменить также скорость аэродинамического нагрева и яркость свечения. Поэтому сильное повреждение корпуса ракеты SCUD должно сопровождаться наблюдаемыми изменениями яркости объекта и его видимого движения. Как показывают последовательности видеок кадров 1, 2 и 3, разрушение корпуса ракет в результате торможения может привести к образованию ярких облаков обломков,<sup>43</sup> зачастую сравнимых по яркости с огненными шарами, образующимися при взрывах боеголовок ракет "Патриот". Такие же яркие облака обломков могут образоваться, например, при взрыве боеголовки вблизи ракеты и ударе ее осколков по корпусу ракеты позади ее боеголовки. В этом случае взрыв боеголовки "Патриота" может снести заднюю часть корпуса ракеты SCUD, оставив ее боеголовку нетронутой. На самом деле, показанный на кадре 3с

взрыв боеголовки "Патриота" был неправильно отождествлен как часть разрушения ракеты SCUD в отчете ракетного полигона Сухпутных войск США в Уайт-Сэнди.<sup>44</sup> Разрушение корпуса ракеты SCUD в результате взрыва боеголовки "Патриота" может привести к еще более впечатляющим визуальным сюжетам. Поэтому события на последовательностях видеок кадров 6 и 7 вполне согласуются с повреждением корпуса ракеты SCUD при взрыве боеголовки "Патриота", сопровождавшимся его разрушением через 0,2 секунды.

Скорость практических ракет SCUD при входе в атмосферу заметно превышает проектную скорость цели, на которую были рассчитаны ракеты "Патриот". Как обсуждается в Приложении В, имеются сообщения о том, что взрыватели ракет "Патриот" не были оптимально настроены для перехвата ракет SCUD. В Приложении В показано также, что на основании имеющейся открытой информации о боеголовке и взрывателе ракеты "Патриот" можно сделать вполне вероятный вывод о том, что взрыватель боеголовки "Патриота" будет подрывать ее слишком поздно для того, чтобы поразить боеголовку ракеты SCUD. Если это так, то возможна другая интерпретация наблюдаемого события: система управления "Патриота" работала правильно и вовремя поддала команду на подрыв боеголовки, который, однако, запаздывал, и осколки боеголовки ударили по корпусу ракеты SCUD позади ее боеголовки.

Аномалия, связанная с этой интерпретацией, заключается в том, что мы не видим боеголовку после попытки перехвата. Однако, в некоторых случаях на видеосюжетах боеголовки также не видны после обычного разрушения корпуса ракет в атмосфере или после попыток перехвата ракетами "Патриот".<sup>45</sup>

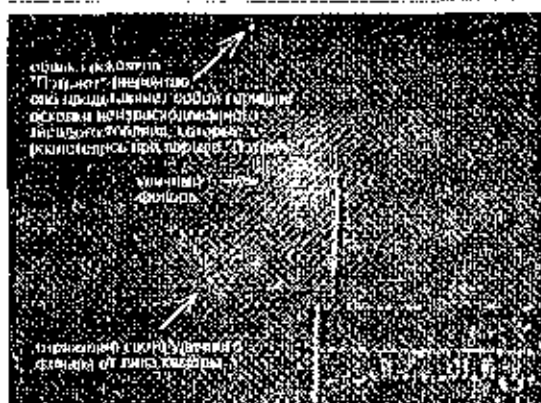
При отсутствии дополнительной информации сделать выбор между двумя возможными объяснениями довольно трудно. Мы увидим, однако, что в этом случае видеосюжет представляет серьезные аргументы в пользу выживания боеголовки и ее взрыва на земной поверхности.

Кадры 8а, 8б и 8с представляют собой видеозображения, полученные соответственно через 4,2, 4,23 и 4,33 секунды после взрыва боеголовки "Патриота". Эти кадры были сняты вблизи отеля "Эр-Рияд Марриот".<sup>46</sup> Несмотря на яркий свет уличных фонарей и на то, что камера была направлена над горизонтом, на кадре 8б можно заметить яркую вспышку от наземного взрыва - следует отметить силуэт дерева над дорожным знаком и освещение одной стороны уличного фонарного столба. На всех трех камерах наземная вспышка была обнаружена через 1,27 видеок кадров, или через 4,23 секунды после взрыва боеголовки "Патриота".

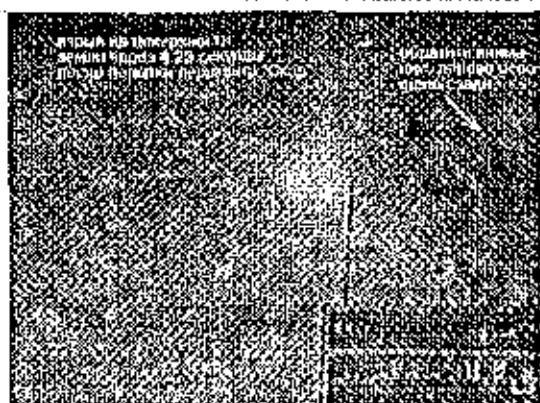
Поскольку при наблюдениях с данной точки направление падения боеголовки ракеты SCUD было практически вертикальным, этот взрыв произошел примерно по тому же азимуту, где находилась точка удара боеголовки по поверхности. Точкой отсчета служит в этом случае объект в верхней части кадров 8а - 8с - облако обломков негоревшего ракетного топлива "Патриота".<sup>47</sup>

Более того, время наземной вспышки также свидетельствует в пользу взрыва боеголовки ракеты SCUD. На рис. 2 показаны оценки временной зависимости высоты и дальности траекторий ракет, учиты-

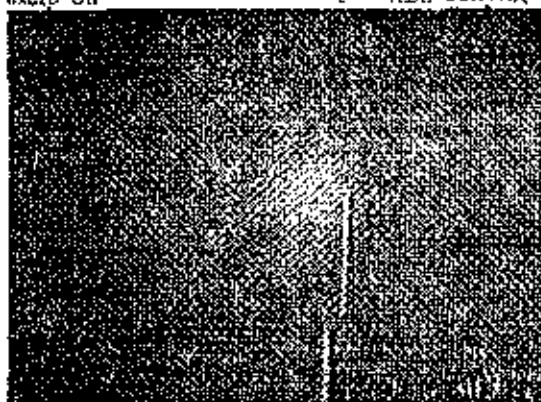




кадр 8а t = 4,20 секунд



кадр 8б t = 4,23 секунды



кадр 8в t = 4,33 секунды

Последовательность видеок кадров 8

Эр-Рияд, 25 января 1991 года, первая ракета SCUD. Боеголовка ракеты SCUD взорвалась на земле через 4,23 секунды после попытки перехвата ракетой "Патриот".

вующих в этом столкновении. Предполагая, что наземный взрыв был вызван боеголовкой ракеты SCUD, и что эта ракета двигалась по траектории, обсуждаемой в Приложении Б, можно получить, что высота точки перехвата составила около 2,5 километров. Перед взрывом боеголовки "Патриот" пролетел около 9,3 - 9,4 секунды, поскольку стартовая позиция "Патриота", направление полета ракеты SCUD и расположение первой камеры (на которой наблюдался весь полет "Патриота") лежали примерно в одной плоскости, то определить наклон траектории "Патриота" было невозможно. Тем не менее, как следует из рис. 2, длительность полета "Патриота" в 9,3 секунды полностью согласуется с интервалом между взрывами боеголовок двух ракет в 4,23 секунды. Поэтому представляется вполне вероятным, что наблюдавшаяся наземная вспышка связана со взрывом боеголовки ракеты SCUD. Однако, как в большинстве случаев падений боеголовок ракет SCUD, открытой информации о точных местах падения нет, так же как и отчетов о жертвах или разрушениях.<sup>48</sup>

Таким образом, в этом столкновении участвовали одна ракета "Патриот" и одна ракета SCUD. Взрыв боеголовки "Патриота" произошел рядом с ракетой SCUD и мы классифицируем это событие как "наложение огненного шара". Поведение ракеты SCUD после попытки перехвата указывает на ее повреждение взрывом боеголовки "Патриота". Однако,

боеголовка ракеты SCUD достигла земной поверхности и взорвалась.

Другая важная информация о попаданиях "Патриот" в ракеты SCUD. Среди исследованных нами 33 попыток перехвата мы смогли найти только одну, похожую по своим проявлениям на рассмотренную выше (т.е., наложение огненного шара "Патриота" на кажущееся положение ракеты SCUD, за которым следует драматическое изменение ее внешнего вида, и отсутствие наблюдаемой цели, движущейся по баллистической траектории с высокой скоростью). Эта попытка перехвата была сделана 11 февраля, когда одиночная ракета SCUD была атакована двумя "Патриотами". При первой попытке перехвата наблюдался наложение огненного шара, не вызвавшее, однако, никакого заметного влияния на последующее движение цели, которая двигалась дальше и претерпела обычный процесс разрушения. При второй попытке, однако, последовательность наблюдаемых явлений была такой же, как на последовательности видеок кадров б, на которой яркость цели сначала увеличилась, а потом стала уменьшаться. Для анализа этого столкновения мы получили только телевизионный видеосюжет, закончившийся почти сразу же после второй попытки перехвата, так что мы не смогли определить точно, двигалась ли боеголовка ракеты SCUD по расчетной траектории. Тем не менее, в продолжении видеосюжета после короткого перерыва

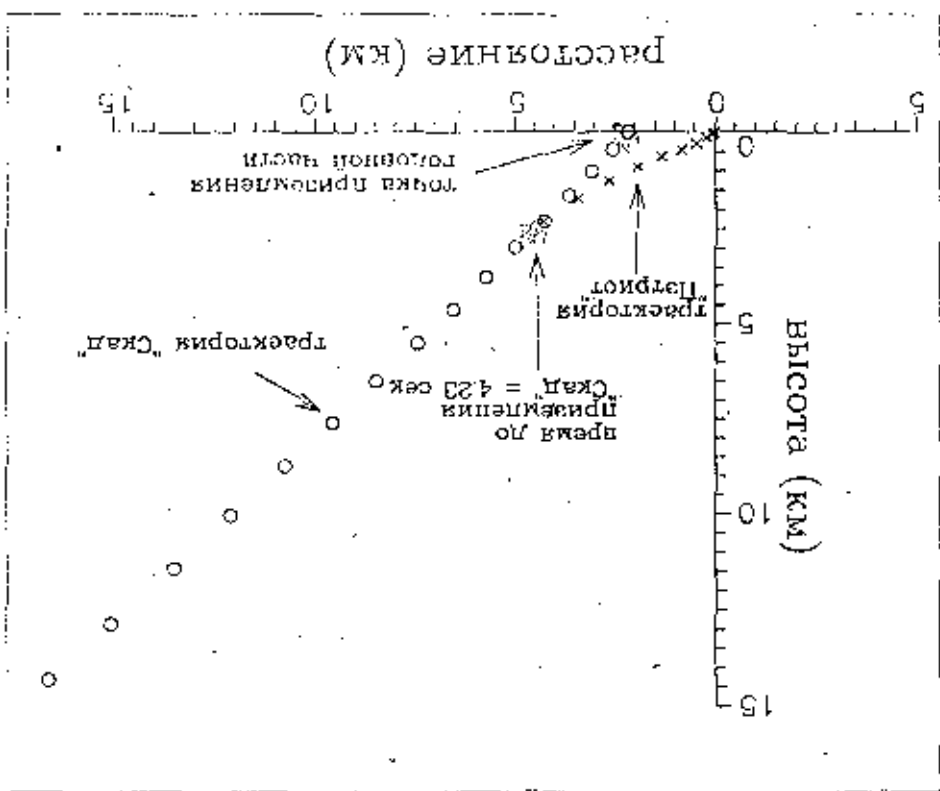


Рисунок 2

Оценка временной последовательности событий и зависимости дальности от высоты для первого боевого столкновения в Эр-Рияде 25 января 1991 года. Этот график является приближенным, поскольку на видеосюжете можно наблюдать только двукмерную картину. На рисунка видно, что взрыв на оселе через 4,23 секунды после попытки перехвата ракетой и попыткой перехвата.

Были показан на снимках взрыв.

Нет никаких сомнений в том, что боеголовка

ракеты SCUD ударилась о землю и взорвалась. 11

февраля по Эр-Рияду была выпущена только одна

ракета SCUD, и таких залпков не было в течение

нескольких дней до и нескольких дней после этой

даты. Боеголовка SCUD ударилась о землю и взрыв

шкального (или университельского) значения, образовав

воронку глубиной около метра и диаметром в 3 - 5

метров и вызвав серьезные разрушения близлежаще-

го здания (однако, незначительные повреждения по-

лучили только два ночных сторожа). Видеопер-

таж с места падения боеголовки показал, что стены

железобетонного здания были заметно повреждены,

что указывало на высокое давление ударной волны

взрыва.

Указание на поражение корпуса ракеты SCUD

ракеты "Патриот" можно найти еще на двух видео-

сюжетах: вторая попытка перехвата, заснятая на

инфракрасной камере ночью видения (дата и место

съемки неизвестны) и вторая попытка перехвата 19

февраля в Тел-Авиве, Оманко, в обеих случаях на

видеокадрах можно наблюдать следующие движе-

ние боеголовки ракеты SCUD.

На изображении, полученном с помощью инфра-

красной камере, вид ракеты SCUD, выходящей на

огненного шара, заметно изменяется. Она становится

меньше, ее яркость уменьшается и ее след стано-

вится менее заметным. В некоторых аспектах выход

ракеты из огненного шара похож на наблюдаемый в

области видения налучения при вылете боеголовки

после обычного разрушения ракеты. Это позволяет

предположить, что ракета "Патриот" поразила кор-

пус ракеты SCUD, не уничтожив, однако, ее боего-

ловку. Тем не менее, поскольку видеосюжет обры-

тает сразу же после перехвата, дальнейшие боего-

ловки до земной поверхности проследить не удалось.

В столкновении 19 февраля ракета SCUD выхо-

дит на огненного шара являясь не коминирующей. Од-

нако, через 0,6 секунды после взрыва ракета разва-

лилась, оставив обломки обломков, в боеголовка про-

должала движение по траектории. В этом не было бы

ничего примечательного, если бы ракета не разру-

шилась заранее, еще до столкновения с "Патриотом",

и поэтому второе разрушение можно было бы свя-

зать с воздействием взрыва боеголовки "Патриот".

Ни на одном из трех видеосюжетов столкновения

взрыва на поверхности земли не наблюдается. Сог-

ласно парадоксам военного источника, боеголовка

этой ракеты не взорвалась, и не было обнаружено

никаких указаний на повреждение боеголовки при столкновении с "Патриотом". Наиболее вероятной причиной неудачи можно считать неисправность взрывателя боеголовки.<sup>50</sup>

По данным Сухопутных войск США, столкновения с ракетами "Патриот" считаются причиной того, что при боеголовки ракет SCUD не взорвались при ударе по поверхности земли.<sup>51</sup> Тем не менее, несмотря на получение этих боеголовок, Сухопутные войска не представили в экспертные группы Конгресса никаких результатов химического или металлургического анализа, которые могли бы свидетельствовать в пользу этой версии, и не представили никаких осколков боеголовки "Патриота", извлеченных из невзорвавшихся боеголовок.<sup>52</sup> Кроме того, известно, что по крайней мере одна из боеголовок ракет SCUD, не взорвалась при ударе о землю, несмотря на то, что она не была атакована ракетой "Патриот".<sup>53</sup>

Эр-рияд, 25 января 1991 года - второе столкновение. Второе боевое столкновение вечером 25 января произошло через 10 секунд после первого; оно показано на последовательных видеокадрах 9, 10 и 11.

Сразу же после наземной вспышки от взрыва первой ракеты SCUD изображение с телекамеры облизни отеля "Эр-Рияд Марриот" резко переместилось вверх и влево, и захватило вторую ракету SCUD через семь секунд после попытки перехвата первой ракеты. Камера следила за ракетой SCUD и через несколько десятых долей секунды обнаружила взрыв боеголовки "Патриота" (предположительно сзади ракеты). На кадре 9а показана ракета SCUD за один кадр до взрыва боеголовки "Патриота", а на кадре 9б - сам взрыв боеголовки. На этом кадре ракета SCUD видна на самом краю огненного шара, который на этом изображении представляется необычно ярким и большим (вполне возможно, что внешняя часть этого объекта представляет собой рассеянное излучение). Если понизить яркость телевизионного изображения, то размер огненного шара можно уменьшить почти вдвое (по сравнению с наблюдающимся на кадре 9б), но ракета SCUD остается при этом отчетливо видимой отдельно от огненного шара.<sup>54</sup>

Отметим, что на этой последовательности видеокладов ракета SCUD движется по телеэкрану вверх. Как мы увидим далее, так происходит потому, что в этом случае ракета летит почти над видеокамерой. Кадры от 9с до 9г соответствуют интервалам времени в 6, 12, 18 и 24 видеокладра после взрыва боеголовки "Патриота". На этих кадрах по внешнему виду ракеты SCUD не замечено ничего необычного. На первых 24 видеокладрах после взрыва общее перемещение ракеты SCUD составило всего лишь половину кажущегося диаметра огненного шара на кадре 9б (что совпадает с измеренным на этом кадре расстоянием от ракеты до центра огненного шара, т.е., с кажущимся расстоянием промаха). Так же, как и в первой рассмотренной в этой статье попытке перехвата, это показывает, что кажущаяся неопределенность положения дегазды намного меньше кажущегося расстояния промаха. Соответственно, кажущийся промах можно считать в данном случае реальным промахом и мы квалифицировали этот перехват именно таким образом.<sup>55</sup>

Вслед за попыткой перехвата видеокамера следовала за ракетой SCUD примерно в течение 2,5 секунд, после чего видеозапись внезапно оборвалась.

Вторая видеозапись начиналась, по-видимому, сразу же после конца первой записи. Как мы увидим, ракета SCUD проходила прямо над головой оператора и перерыв в записях, скорее всего, связан с тем, что он повернулся для того, чтобы захватить ракету SCUD.<sup>56</sup>

Вторая видеозапись представлена на последовательности видеокладов 10. На кадрах 10а и 10б видна ракета SCUD, летящая над отелем "Эр-Рияд Марриот" и скрывающаяся за зданием отеля. Примерно через полсекунды после того, как ракета SCUD исчезла за зданием, камера захватила другой объект, который летел за ракетой примерно по той же кажущейся траектории (см. кадры 10с и 10д). Этот объект не замедлялся, но его яркость уменьшалась, так же как у ракет "Патриот" при завершении работы двигателя. При повороте видеокамеры через 1,3 секунды после того, как ракета SCUD исчезла за зданием, на видеозображении была обнаружена вспышка за отелем "Эр-Рияд Марриот" (см. кадр 10г).

Кадр 10г позволил определить местоположение места съема. После съема ракет при повороте камеры в ее поле зрения попал вход отеля "Эр-Рияд Марриот".

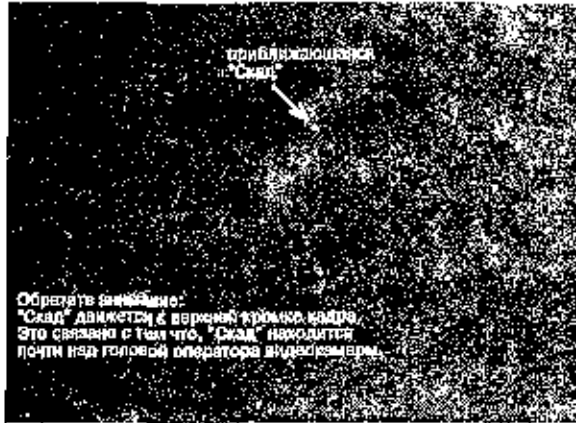
На другом видеосюжете,<sup>57</sup> снятом с другой точки, была видна та же самая ракета SCUD, пролетавшая над большим зданием (на отелем), и упавшая за ним. Это показано на кадрах 11а и 11б. Примерно через 1,4 секунды после того, как ракета скрывалась за зданием, за ним была обнаружена яркая вспышка от наземного взрыва (кадр 11д). Ракета "Патриот" взорвалась в воздухе над зданием (кадр 11г) через 1,1 секунды после наземной вспышки.

Боеголовка ракеты SCUD попала в шестистаэтажное здание на окраине Эр-Рида.<sup>58</sup> Здание, принадлежащее Министерству внутренних дел Саудовской Аравии, было уничтожено (см. кадры 11г и 11б). Несмотря на то, что, согласно сообщениям, персонала в здании не было (атака была произведена в 10 часов 20 минут вечера в пятницу), один человек был убит и около 30 ранено. Здание находилось примерно в 2,25 километрах к югу от отеля "Эр-Рияд Марриот". Поскольку ракеты SCUD летели на горю с севера, ракета должна была пролететь почти прямо над телеоператорами в отеле "Эр-Рияд Марриот" на высоте около двух километров. События, связанные с этой ракетной атакой, были описаны репортером BBC Барнетом Майнсом следующим образом: "Затем другой объект, по-видимому, ракета SCUD, пролетел прямо над нашей головой через город, а его преломлен еще один объект, скорее всего, "Патриот". В конце концов "Патриот" не смог догнать ракету SCUD, которая упала на землю с ужасающим взрывом".<sup>59</sup>

Таким образом, вторая из атакованных Эр-Рияд ракет SCUD была встречена по меньшей мере двумя ракетами "Патриот". Первый "Патриот" промахнулся и прошел на большом расстоянии от цели, а второй взорвался в воздухе уже тогда, когда боеголовка ракеты SCUD уже взорвалась на земле.

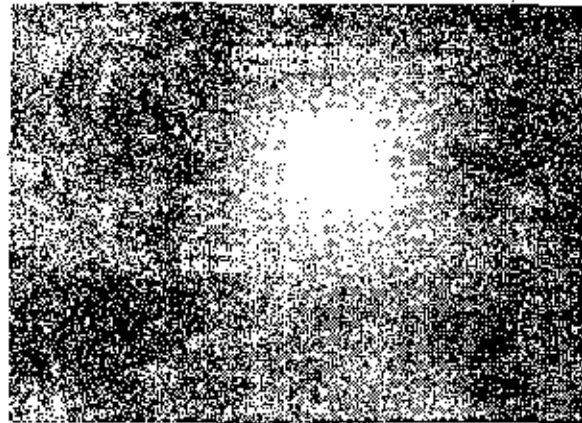
#### ПРОЧАЯ ИНФОРМАЦИЯ В ВИДЕОСЮЖЕТАХ

Рассмотренные видеосюжеты содержат весьма полезную информацию, относящуюся не только к попаданию или промахам ракет "Патриот". Например, в боевом столкновении 26 января 1991 года в Эр-Рида (где наблюдалось, что ракета SCUD движется по спиральной траектории) была получена



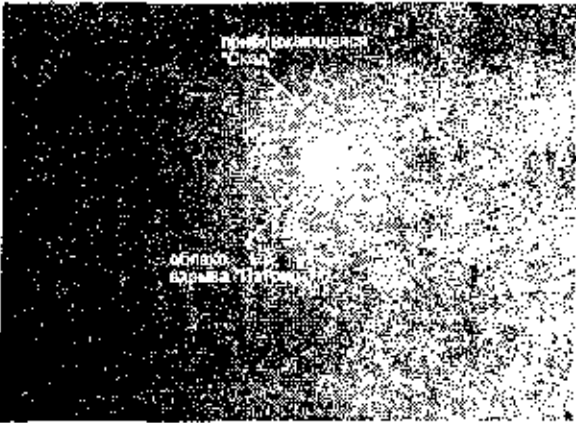
кадр 9а

t = 0.033



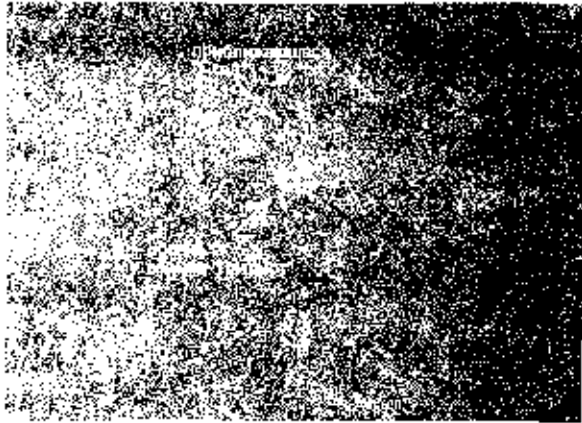
кадр 9б

t = 0.060



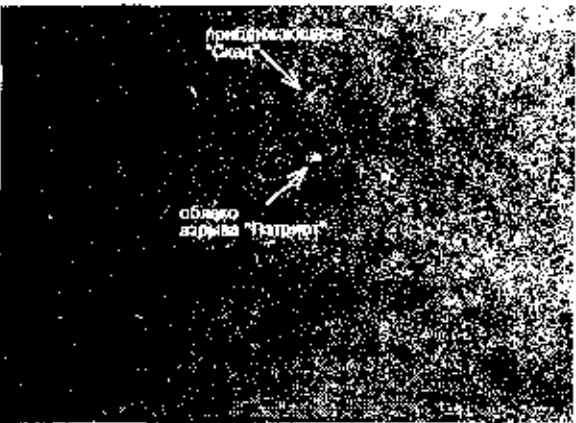
кадр 9в

t = 0.133



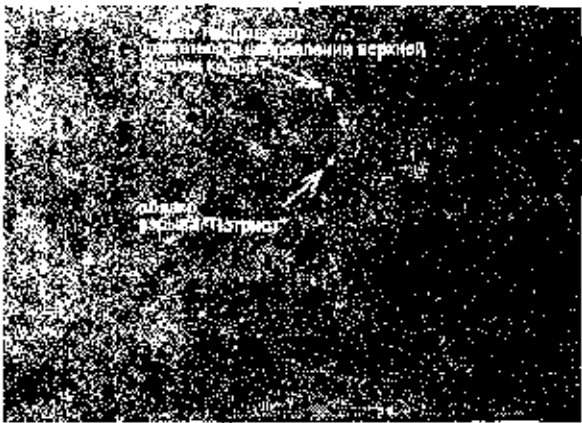
кадр 9г

t = 0.160



кадр 9д

t = 0.600

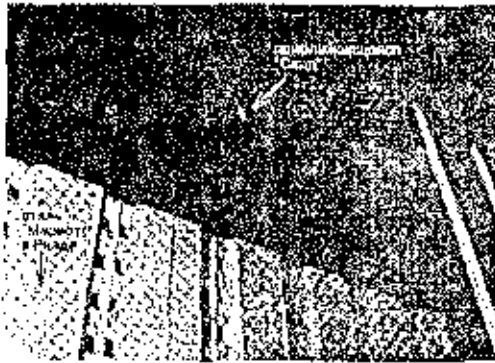


кадр 9е

t = 0.800

Наблюдения с видеосъемки 9

Эр-Рияд, 25 января 1991 года, вторая ракета SCUD. Первая из двух ракет "Патриот" промахнулась.



кадр 10а



кадр 10б



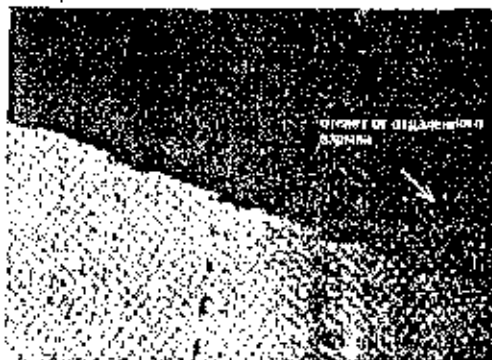
кадр 10в



кадр 10г



кадр 10д



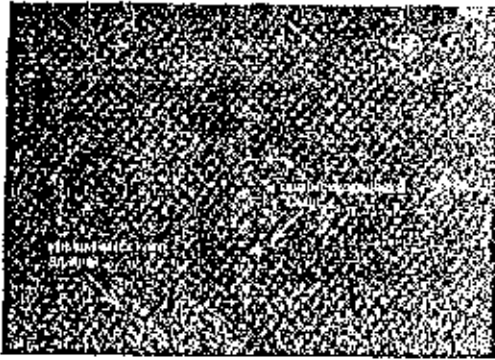
кадр 10е



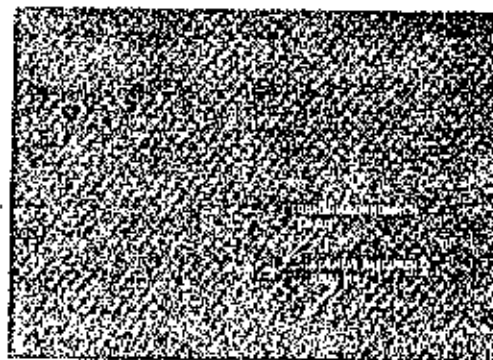
кадр 10ж

Последовательность видеок кадров 10

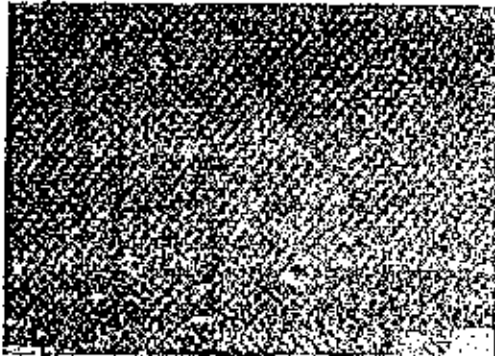
Эр-Рияд, 25 января 1991 года, вторая ракета SCUD. Цель движется над городом "Эр-Рияд Марриот", преследуемая ракетой "Патриот", а при повороте камеры наблюдается вспышка.



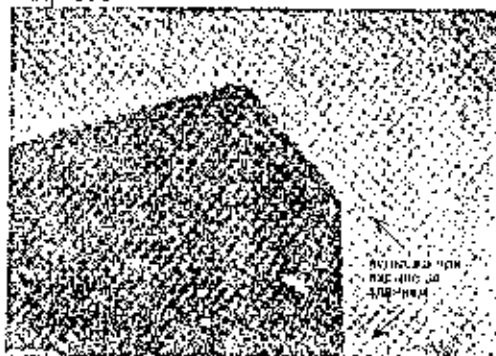
кадр 11а



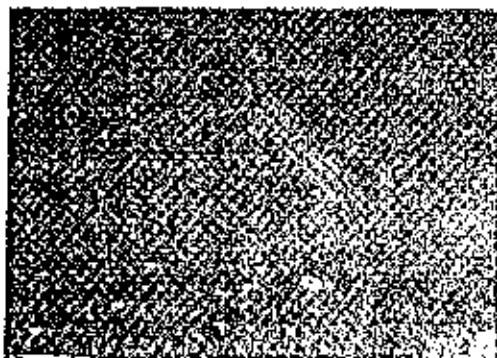
кадр 11б



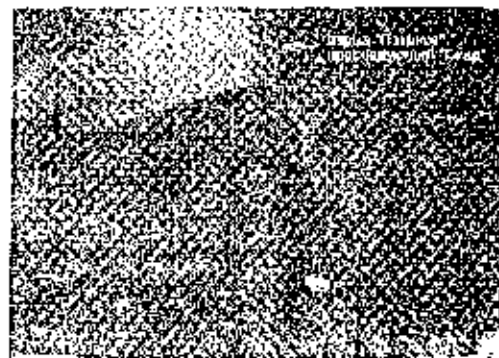
кадр 11в



кадр 11г



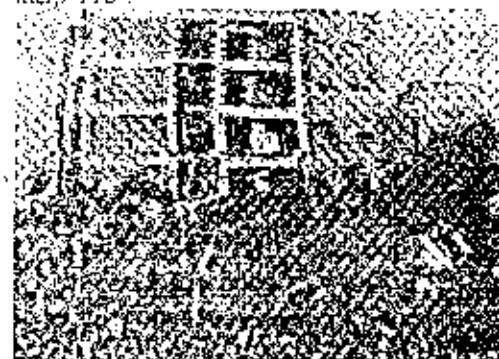
кадр 11д



кадр 11е



кадр 11ж



кадр 11з

Последовательность видеок кадров 11

Ор-Ринд, 25 января 1991 года, вторая ракета SCUD. Цель движется над аэродромом, падает на землю, а на земле наблюдается вспышка от взрыва. Через 1,1 секунды после наземного взрыва взрывается боеголовка "Матриета".

очень полезная и важная информация о ракетах SCUD. На видеосюжетах было обнаружено очень много процессов разрушения ракет SCUD и на многих из них были обнаружены линии обломков, вылетающих из облака остатков ракеты SCUD. Такие события представляли серьезную проблему для ракеты "Патриот", создавая много потенциальных целей, и похоже, что эта проблема не была исправлена до атак 25 января, когда уже было произведено большое количество атак ракетами "Патриот".<sup>60</sup>

Одной из наиболее важных групп событий на исследованных видеосюжетах были те съемки, на которых наблюдались ракеты "Патриот", пикнировавшие на землю и взрывающиеся. На полученных нами сюжетах наблюдались по крайней мере пять таких событий,<sup>61</sup> (см. Приложение А), но мы полагаем, что общее число таких событий было намного больше.<sup>62</sup>

На последовательности видеоклипов 12 показаны траектории первой и второй ракет из группы из трех ракет "Патриот", запущенных из батареи этих ракет в аэропорту Дов (к северу от окрестностей Тель-Авива) около 6 часов вечера 25 января 1991 года. Третья ракета "Патриот" на этой серии взорвалась преждевременно после нескольких секунд полета.

На кадре 12а наблюдается яркий взрыв от удара первой ракеты "Патриот" о землю. Ракета летела по очень низкой траектории и ударилась о землю примерно через девять секунд после старта. След ракеты "Патриот" был освещен взрывом ее боеголовки, так что траектория ракеты наблюдалась на всем ее протяжении. Похоже, что расчетная траектория ракеты была слишком низкой и пересеклась с земной поверхностью.<sup>63</sup> После 25 января математическое обеспечение системы управления ракеты "Патриот" было изменено и допустимое значение высоты перехвата было увеличено. После этого сообщений о пикнировании ракет "Патриот" не появлялось.

Немедленно после удара ракеты "Патриот" о землю и взрыва ее боеголовки были обнаружены еще два взрыва. На кадре 12b показан первый из этих взрывов, который произошел примерно через одну секунду после падения "Патриота" на землю. Эти взрывы могли быть инициированы взрывом боеголовки "Патриота", или один из этих взрывов мог быть взрывом боеголовки ракеты SCUD, которую пытался перехватить "Патриот" (а другой взрыв мог быть детонацией другой боеголовки ракеты SCUD на большем расстоянии).

На последовательности видеоклипов 13 (которая на самом деле состоит всего из одного кадра) можно наблюдать еще один класс информации, который может быть извлечен из видеозображений. На этом кадре показан четвертый промах ракеты "Патриот" в Тель-Авиве около 7 часов вечера 11 февраля 1991 года.<sup>64</sup> Взрыв боеголовки "Патриота" подсвечивал ее след, который указал, что ракета пыталась повернуть и догнать ракету SCUD. Это показало, что система управления "Патриота" сначала направила ракету не в ту точку пространства, что, в свою очередь, указывало на серьезные систематические проблемы этой системы оружия, которые оставались даже на самой поздней стадии войны в Персидском заливе (к этому моменту было использовано около 85 процентов ракет "Патриот").

## ВЫВОДЫ

Мы детально рассмотрели три боевых столкновения и кратко обсудили другие события для того, чтобы показать возможную информацию, которая может быть получена в результате детального анализа видеосюжетов информационных агентств, на которых были засняты попытки перехвата ракет SCUD ракетами "Патриот".

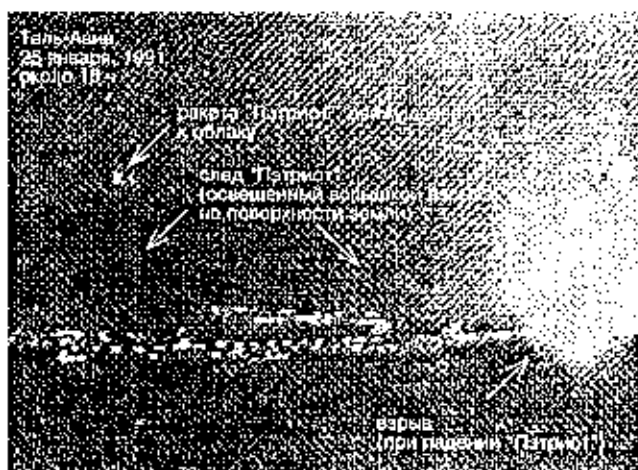
Информационные видеосюжеты являются очень важным и во многих отношениях уникальным источником фактической информации об эффективности ракет "Патриот" в войне в Персидском заливе. Несмотря на то, что эта информация часто бывает фрагментарной, во многих случаях видеосюжеты предоставляют полную картину отдельных боевых столкновений. Они не только дают существенные детали исхода многих боевых столкновений, но и содержат детальную информацию о разрушении и аэродинамическом поведении ракет SCUD, а также информацию о других связанных событиях, таких, как преждевременные взрывы ракет "Патриот" и пикнирование ракет "Патриот" на землю. Мы полагаем, что подробный анализ кадров, в особенности, неотредактированных видеоматериалов, позволит обнаружить гораздо больше информации.

Изучив видеосюжеты, которые мы смогли получить для анализа, мы сумели классифицировать 33 отдельных попытки перехвата как "очевидные промахи" или как "наложения огненных шаров".<sup>65</sup> Двадцать пять попыток перехвата из тридцати трех были квалифицированы нами как "очевидные промахи".

Оставшиеся восемь попыток перехвата квалифицированы нами как "наложения огненных шаров" (два таких перехвата произошли в одном боевом столкновении). Во всех таких попытках либо боеголовка ракеты SCUD продолжала двигаться вниз (четыре случая), либо наблюдался наземный взрыв (два случая), либо происходило и то, и другое (два случая). Таким образом, во всех восьми случаях было очевидно, что боеголовка ракеты SCUD в воздухе не взорвалась.

Эти 33 попытки перехвата были произведены в 18 различных боевых столкновениях. На видеосюжетах наблюдались еще пять ракет SCUD, ударившихся о землю и взрывающихся (см. Приложение А) и участки полета нескольких других ракет SCUD. Кроме того, на видеосюжетах наблюдались по крайней мере пять ракет "Патриот", упавших на землю и взрывающихся.

В целом полученные нами видеосюжеты содержат значимую информацию по крайней мере о половине всех атак ракет SCUD ракетами "Патриот". Точное число боевых столкновений остается засекреченным, но оно не превышает 46. На на одном видеосюжете не было обнаружено информации, подтверждающей уничтожение боеголовки ракеты SCUD в воздухе. Лучшим для ракет "Патриот" выводом из результата анализа может быть только тот, что в некоторых случаях видеосюжеты не могут доказать, что атака "Патриота" привела к обезвреживанию боеголовки без взрыва. Однако, до сих пор не удалось придумать механизма, обеспечивающего такой исход попытки перехвата, и обладающего достаточной высокой вероятностью (особенно в тех случаях, когда ракета SCUD не была повреждена в результате попытки перехвата).<sup>66</sup>



Последовательность видеокадров 12

Тель-Авив, 25 января 1991 года. Ракета "Патриот" взрывается на земле и разрывается в окрестностях города. За взрывом ракеты "Патриот" последовали еще два взрыва, первый из которых показан на этих видеокадрах. Дополнительные взрывы могли быть инициированы взрывом боеголовки ракеты "Патриот" или боеголовки ракеты SCUD.

Таким образом, на видеосюжетах не содержится надежной информации об уничтожении хотя бы одной ракеты SCUD ракетами "Патриот". Вместо этого на них достаточно много указаний о весьма малой (и, может быть, даже нулевой) эффективности этого вида оружия. Хотя видеосюжеты не позволяют определить точного значения эффективности ракет "Патриот" (хотя бы потому, что они представляют всего лишь около половины боевых столкновений), но полученная из них информация вполне достаточно для несогласованности с текущим утверждением Сухопутных войск США о том, что ракетами "Патриот" уничтожено 52 процента атакующих боеголовок ракет SCUD.

Информация на видеосюжетах имеет особое значение, потому что утверждения Сухопутных войск полностью основаны на данных, остающихся секретными, и что эти данные критиковались экспертами Конгресса как недостаточные для поддержки заявлений Сухопутных войск.<sup>67</sup>

Из полученного опыта в отношении оценки эффективности будущего использования ракет "Патриот" сделан по крайней мере один вывод: недавно размещенные в Кувейте ракеты "Патриот" будут оборудованы цифровыми магнитофонами.<sup>68</sup> Рассматривается также возможность установки видеокамер для записи всех последующих попыток использования ракет "Патриот". Такие видеокамеры будут эффективно дополнить цифровые магнитофоны при оценке боевой эффективности будущего применения ракет "Патриот" (по крайней мере для ночных боевых столкновений). Если бы такая информация имела и использовалась во время войны в Персидском заливе, то многие из возникших проблем были бы выявлены существенно раньше.

Разработка и развертывание оборонительных систем против тактических и оперативно-тактических ракет, очевидно, в ближайшем будущем составят один из основных элементов оборонной политики США и других стран. В этой области в ближайшем десятилетии могут быть потрачены десятки миллиардов долларов. Крайне важно, чтобы при создании

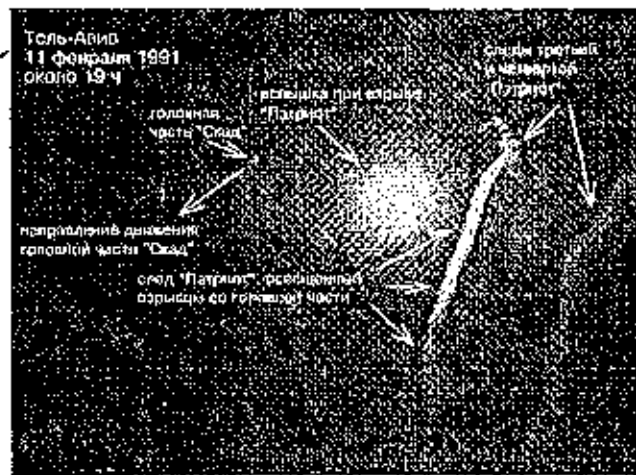
таких противоракетных систем были полностью поняты и усвоены уроки единственного боевого применения противоракетной обороны - использования ракет "Патриот" в войне в Персидском заливе. Продолжая отрицать полезность информационных видеосюжетов, Сухопутные войска США отказывают себе в преимуществах уникального и полезного источника информации об эффективности противоракетной обороны, и, что еще хуже, могут быть завлечены в разработку будущих систем противоракетной обороны, основанных на ложных оценках эффективности системы "Патриот".

Мы считаем, что детальная и независимая оценка эффективности использования ракет "Патриот" в войне в Персидском заливе является крайне необходимой. В этой оценке должна использоваться вся доступная информация, как секретная, так и несекретная, и она должна проводиться солидной и независимой организацией, такой, как Национальная академия наук или Американское физическое общество. Если такая оценка будет основана только на неадекватных данных Сухопутных войск США, то даже независимые эксперты не смогут выдать определенного заключения об эффективности системы "Патриот". Но даже в этом случае такая оценка представит гораздо более полную картину применения ракет "Патриот" в войне в Персидском заливе и позволит сделать выводы на боевого опыта для будущих усилий по созданию обороны против баллистических ракет.

## П. ПАБЛАДАРИОСТИ

Мы хотим поблагодарить фонд Poughshares за очень быстрое предоставление средств для нашего исследования по ракетам "Патриот" в два наиболее критических момента. Вклад этого фонда имел абсолютно важное значение для успеха нашей исследовательской программы. Мы хотели бы также поблагодарить фонды John D. and Catherine T. MacArthur, John Merck, W. Alton Jones за финансирование различных этапов исследований, приведших к созда-





Последовательность кадров 13

Тель-Авив, 11 февраля 1991 года. Здесь показан четвертый из очевидных промахов зенитной ракеты SCUD. Детонация боеголовки ракеты "Патриот" осветила ее след (так же, как у третьей ракеты), что указывает на попытку поворота и перехвата ракеты.

нию этой статьи. Во время одного из этапов работы один из соавторов (Льюис) получил поддержку через грант для исследований и писательской деятельности от программы фонда МакАртура для мира и международного сотрудничества. Непрерывная поддержка на протяжении всего проекта и критическая оценка профессора Ричарда Л. Гарвина была неоценимой. Др. Дон Финстермахер, др. Лизбет Гронлунд и др. Дэвид Ц. Райт предоставили полезную техническую и редакционную помощь. И, наконец, мы хотели бы поблагодарить Др. Харви Занольски, директора программы исследований по обороне и контролю над вооружениями Массачусетского технологического института, за его безусловную поддержку и неизменное чувство юмора во время выполнения этого проекта, который иногда протекал довольно трудно.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

СВОДКА ВИДЕОСЮЖЕТОВ

В этом приложении приводятся сведения о многих примечательных событиях, наблюдавшихся на исследованных нами видеосюжетах. В частности, здесь приведены сведения о 33 попытках перехвата, квалифицированных нами как очевидные промахи (25) или перекрытия огненным шаром (8)

Тель-Авив

- 25 января Наблюдалось по крайней мере два удара ракет SCUD о землю с последующими взрывами. Кроме того, в Тель-Авиве наблюдалось два падения ракет "Патриот" на землю (а еще одно наблюдалось в Хайфе).
- 26 января 2 ракеты "Патриот" влетели в облака, а из облаков вылетела одна ракета SCUD, ударилась о землю и взорвалась.
- 9 февраля 3 очевидных промаха, и одна ракета

- 11 февраля 4 очевидных промаха, но ракета SCUD не была прослежена до поверхности.
- 12 февраля 1 очевидный промах, и одна ракета SCUD взорвалась на поверхности земли.
- 19 февраля 1 очевидный промах и 1 перекрытие огненным шаром; вторая ракета "Патриот", по-видимому, поразила ракету SCUD. По-видимому, камера следила за ракетой SCUD до самой поверхности, но наземного взрыва не наблюдалось.

Эр-Ривд

- 21 января *Первая ракета SCUD.* Виден только конечный участок полета ракеты SCUD со взрывом ее боеголовки на поверхности земли.  
*Вторая ракета SCUD.* Одна ракета "Патриот" взорвалась за облаками, вторая ракета "Патриот" упала на землю и взорвалась, а боеголовка ракеты SCUD упала на поверхность земли и взорвалась на ней.  
*Третья ракета SCUD.* Одно перекрытие огненным шаром и один очевидный промах. Ракета SCUD продолжала движение вниз, но не была прослежена до земной поверхности.
- 22 января Наблюдалось четыре ракеты "Патриот" и, по-видимому, две ракеты SCUD. Содержание видеосюжета объяснить трудно; по-видимому, ни одна из ракет "Патриот" не сумела перехватить ракеты SCUD.
- 25 января *Первая ракета SCUD.* Одно перекрытие огненным шаром. Почти наверняка ракета SCUD была поражена, но ее боеголовка достигла до земли и

- взорвалась.
- Вторая ракета SCUD.* 2 очевидных промаха и боеголовка ракеты SCUD взорвалась на поверхности земли.
- 26 января Одно перекрытие огненным шаром и один очевидный промах. Ракета SCUD продолжала движение вниз, и ее боеголовка взорвалась на земной поверхности.
- 3 февраля Два очевидных промаха, боеголовка ракеты SCUD продолжала движение вниз и взорвалась на земной поверхности.
- 8 февраля Два очевидных промаха. Ракета SCUD продолжала движение вниз, но не была прослежена до земной поверхности.
- 11 февраля Два перекрытия огненным шаром. Почти наверняка ракета SCUD была поражена второй ракетой "Патриот", но ее боеголовка долетела до земли и взорвалась.
- 24 февраля *Первая ракета SCUD.* Два взрыва ракет "Патриот", но ракета SCUD наблюдалась только через значительное время после попыток перехвата.
- Вторая ракета SCUD.* Один преждевременный взрыв ракеты "Патриот" (через несколько секунд полета) и один очевидный промах, но камера не проследила за ракетой SCUD до земной поверхности.

## Дахран

- 20/21 января *Первая ракета SCUD.* Она наблюдалась только на коротком участке в конце траектории перед падением ее боеголовки на землю.
- Вторая ракета SCUD.* Один очевидный промах, но камера не следила за ракетой SCUD до поверхности земли.
- Третья ракета SCUD.* Одно перекрытие огненным шаром. Ракета SCUD продолжала движение вниз, но взрыва на земле не наблюдалось. Возможно, хотя и маловероятно, что этот сюжет на деле представлял собой съемку одной из предыдущих ракет с более удаленной позиции. Неизвестно также относительное время сюжета относительно первых двух.
- Наблюдалась также одна ракета "Патриот", упавшая на землю и взорвавшаяся.
- 23 января Один преждевременный взрыв ракеты "Патриот", один очевидный промах и один взрыв боеголовки "Патриота" за облаками. Боеголовка ракеты SCUD упала на землю и взорвалась.
- 26 января 3 очевидных промаха и боеголовка ракеты SCUD взорвалась на земле.
- 25 февраля Неатакованная ракета SCUD взорвалась на поверхности земли. Это была ракета, попавшая в американские казармы в Дахране.

## Неизвестное время и место

1. Один очевидный промах, после которого ракета SCUD пропала (скорее всего, за облаками), за чем последовал взрыв боеголовки второго "Патриота" (в этот момент ракета SCUD не была видна). Сюжет закончился сразу же после взрыва второго "Патриота".

2. Один очевидный промах и одно наложение огненного шара. Боеголовка ракеты SCUD продолжала двигаться дальше, но сюжет закончился сразу же после второй попытки перехвата. Этот сюжет был снят на инфракрасной камере ночного видения; источник сюжета неизвестен. Возможно, что второй "Патриот" поразил ракету SCUD, не подорвав ее боеголовку.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ГЕОМЕТРИЯ ПЕРЕХВАТА  
И РАЗМЕР ОГНЕННОГО ШАРА

В этом приложении мы обсудим, что можно узнать о кажущемся размере огненных шаров взрыва боеголовки ракет "Патриот" из детальных измерений и анализа телевизионных информационных видеосюжетов. Диаметры огненных шаров "Патриотов" представляют интерес по двум причинам. Во-первых, недавние утверждения о том, что диаметр огненного шара очень мал (около восьми метров), играли основную роль в аргументах критиков использования видеосюжетов в качестве исходных данных для анализа эффективности ракет "Патриот". Во-вторых, относительно большая величина радиуса огненного шара указывает на то, что распределение осколков от взрыва боеголовки ракет "Патриот" не играет основной роли при анализе видеосюжетов. Тем не менее, мы отмечаем, что мы никогда не использовали радиуса огненного шара как масштаба расстояния при определении промахов и попаданий.

Как отмечалось в основном тексте, огненные шары, наблюдаемые на видеосюжетах, представляют собой не просто шары расколоченного газа, но сложную смесь продуктов сгорания, дыма и обломков боеголовки и атакуемой ракеты. На видеосъемках ракет "Патриот" на испытательных полигонах, проведенных на высокоскоростных камерах в дневное время, как правило, наблюдаются огненные шары с диаметрами в 20 - 30 метров. На рис. Б-1 приведена фотография перехвата на испытательном полигоне,<sup>69</sup> на которой показан огненный шар диаметром в 25 - 30 метров.<sup>70</sup> Тем не менее, приведенные данные указывают, что кажущийся диаметр огненных шаров, наблюдавшихся в проведенных в ночное время видеосъемках телеоператоров в Израиле и Саудовской Аравии, по крайней мере в несколько раз больше, чем диаметры огненных шаров, наблюдавшихся на полигонах в дневное время.

Как отмечалось в основном тексте, на видеосъемках наблюдается только одна компонента скорости ракеты SCUD, равная  $V \sin \alpha$ , где  $V$  - скорость самой ракеты и  $\sin \alpha$  - синус угла между скоростью ракеты и направлением оси камеры. Если мы знаем оба значения  $V$  и  $\alpha$ , то мы будем иметь линейный масштаб для оценки размеров огненного шара, поскольку перемещение ракеты SCUD между двумя последовательными видеоскадрами будет соответствовать рас-

стоянию  $(V \sin \alpha)/30$ .

Скорость ракеты SCUD можно приблизительно определить из анализа ее траектории. Если модель траектории полета ракеты, можно определить угол  $\alpha$ , зная положение камеры, точку падения ракеты SCUD, и время между попыткой перехвата и моментом падения ракеты на Землю.

В Израиле положение большинства точек падения ракет SCUD известно; тем не менее, большинство видеосъемок попыток перехвата было сделано в Саудовской Аравии, где известно положение лишь немногих точек их падения. Тем не менее, в нескольких случаях имеется достаточное количество информации для того, чтобы сделать определенные выводы о размере огненных шаров от взрыва боеголовки "Патриота".

12 февраля, Тель-Авив. Мы сначала рассмотрим столкновение между ракетами "Патриот" и SCUD, случившееся утром 12 февраля. В этом столкновении одиночная ракета "Патриот" прошла на большом расстоянии от ракеты SCUD, которая продолжала двигаться вниз и взорвалась на поверхности земли. Расположение точки взрыва примерно известно.<sup>1</sup> Она упала между двумя небольшими домами на бере-

ге горной Саванн. Ее взрыв уничтожил оба дома и повредил несколько других соседних домов.

Расположение видеокмеры точно не известно, но, скорее всего, она находилась на крыше высокого здания на окраине Тель-Авива, предположительно отеля Хилтон. Саванн расположен примерно в десяти километрах от окраины Тель-Авива, по азимуту в 20° к югу от востока (если считать от группы больших скал на берегу Средиземного моря). Ракеты SCUD прилетели с направления с азимутом в 10° к северу от востока. Мы предположим для простоты, что траектория ракеты SCUD, точка падения ее боеголовки и точка расположения камеры находится в одной плоскости. Это предположение сводит задачу к двумерной и приводит к небольшой недооценке значения диаметра огненного шара.

Геометрия перехвата показана на рис. Б-2. Выбор траектории ракеты SCUD важен, потому что диаметр огненного шара зависит от высоты перехвата и от скорости ракеты в момент перехвата. Показывая на рис. Б-2 траектории построена в предположении, что ракета SCUD с начальным значением баллистического коэффициента в 3000 фунтов на квадратный фут на высоте в 11,4 километра разру-

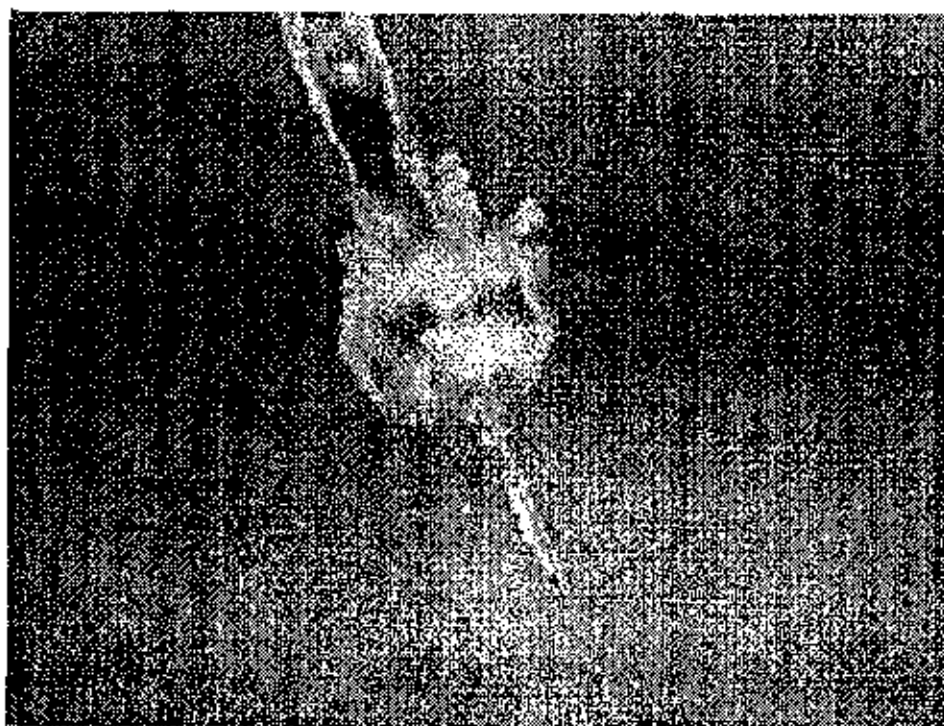


Рисунок Б-1

Попытка перехвата ракетой "Патриот" ракеты "Лэнс" на ракетном полигоне Уайт-Сэнда. Ракета "Патриот" повредила элементы управления ракеты "Лэнс" (которые впоследствии заставили ее колебаться), но в остальном ракета казалась неповрежденной. Измерение отношения длины ракеты к диаметру (для ракеты "Лэнс" длина равна 6,14 метра, а диаметр равен 0,56 метра) показали, что кажущегося сокращения длины ракеты из-за угла зрения не происходит (с другой стороны, размеры огненного шара можно оценить по диаметру ракеты). Диаметр огненного шара в четыре или пять раз больше диаметра ракеты "Лэнс", т.е. 25 или 30 метров.

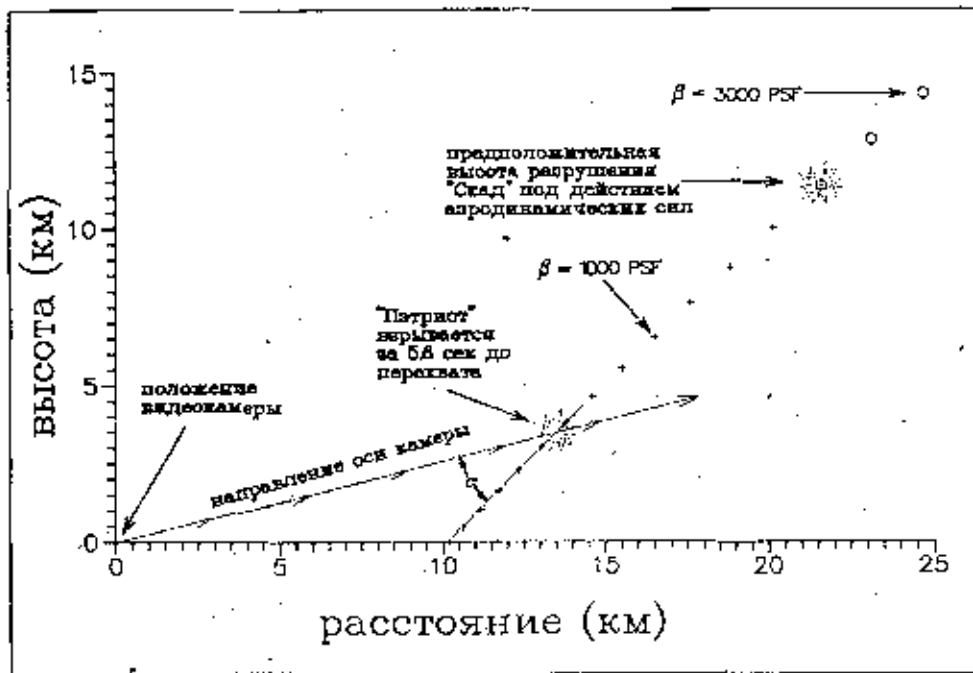


Рисунок В-2

Моделирование геометрии перехвата в боковом столкновении 12 февраля 1991 года над Тель-Авивом. При этом предполагалось, что направление полета ракеты SCUD, точка перехвата и расположение камеры лежат в одной плоскости. Предполагалось также, что ракета SCUD развалилась на высоте 11,4 километра, причем ее баллистический коэффициент  $\beta$  уменьшился с 3000 до 1000 фунтов на квадратный фут. На видеозаписи наблюдается кажущаяся компонента скорости ракеты SCUD  $V \sin \alpha$ .

шилась. Секция боеголовки продолжала двигаться по траектории, но ее баллистический коэффициент уменьшился до 1000 фунтов на квадратный фут. Такая траектория хорошо согласуется с известными данными о временах от попыток перехвата до падения боеголовок ракет SCUD на землю.<sup>72</sup> В табл. В-1 приведены численные параметры этой траектории ракеты.

В столкновении 12 февраля высота перехвата была необычно малой и ее боеголовка ударилась о землю всего через 5,6 секунды после попытки перехвата. Для показанной на рис. В-2 траектории попытка перехвата должна была произойти на высоте в 3,5 километра на расстоянии от телекамеры в 13,3 километра. Таким образом, угол между осью телекамеры и горизонтом в этом случае примерно равен  $14,7^\circ$ . Во время попытки перехвата угол между вектором скорости ракеты SCUD и горизонтом был равен  $45,6^\circ$ , так что угол  $\alpha$  равен  $30,9^\circ$ . Скорость ракеты SCUD равна примерно  $1,09$  км/сек, так что кажущаяся перемещение ракеты SCUD за один видеокادر равно примерно  $(1090/30) \sin(30,9^\circ) = 18,7$  метрам. В этом случае диаметр огненного шара приблизительно равен перемещению ракеты за шесть видеокадров (см. табл. В-2). Таким образом, диаметр огнен-

ного шара равен в этом случае примерно 110 метрам.<sup>73</sup>

В этом столкновении кажущееся расстояние промаха примерно в 19 раз больше перемещения ракеты SCUD за один видеокادر, так что минимальное значение промаха составляет около 350 метров. Вполне возможно, что реальное значение промаха намного больше, потому что мы наблюдаем только двумерную картину события.

25 января, Эр-Рияд. Теперь мы рассмотрим одно из трех столкновений, детально обсуждавшихся в основном тексте - вторую ракету SCUD над Эр-Риядом 25 января 1991 года. Видеокамера, которой была заснята первая попытка перехвата ракеты SCUD (последовательности видеокадров 9, 10 и 11), была расположена рядом с отелем "Эр-Рияд Марриот". Боеголовка ракеты SCUD попала в здание Министерства внутренних дел Саудовской Аравии, расположенное примерно в 2,25 километрах к югу от отеля. Поскольку ракеты SCUD прилетают с севера, эта ракета должна была пролететь прямо над телекамерой на высоте около двух километров.

\* На рис. В-3 показана геометрия попытки перехвата, построенная с использованием той же траектории ракеты SCUD, что и на рис. В-2. Единственная

Таблица Б-1

В этой таблице перечислены параметры траектории ракеты SCUD, использованные в нашем анализе. Предполагалось, что до разрушения ракеты на высоте в 11,4 километра ее баллистический коэффициент равнялся 3000 фунтов на квадратный фут, а после разрушения он уменьшился до 1000 фунтов на квадратный фут.

Время до столкновения (сек)	Высота (км)	Расстояние (км)	Угол входа (в градусах)	Скорость (км/сек)
13,0	11,38	11,36	43,6	2,04
12,0	10,02	9,94	43,8	1,90
11,0	8,76	8,62	44,0	1,75
10,0	7,59	7,42	44,3	1,61
9,0	6,51	6,32	44,5	1,48
8,0	5,52	5,31	44,8	1,35
7,0	4,61	4,40	45,1	1,24
6,0	3,77	3,57	45,5	1,13
5,0	2,99	2,81	45,8	1,03
4,0	2,28	2,12	46,2	0,95
3,0	1,62	1,50	46,6	0,87
2,0	1,01	0,93	47,1	0,80
1,0	0,45	0,41	47,6	0,74
0,0	0,00	0,00	48,0	0,69

проблема с интерпретацией этого видеосюжета заключается в том, что мы не можем непосредственно оценить высоту перехвата из-за того, что между попыткой перехвата и наземным взрывом в видеосюжете имеется разрыв.

Тем не менее, мы можем попытаться рассчитать угол  $\alpha$  и диаметр огненного шара в зависимости от высоты перехвата. Действуя так же, как и предыдущем примере, мы построили зависимость диаметра огненного шара от высоты перехвата, показанную на рис. Б-4. Она показывает, что минимальный радиус огненного шара примерно равен 200 метрам при относительно большой высоте перехвата в 12 километрах.

Анализ, в результате которого был получен рис. Б-4, показывает также, что минимально возможное расстояние промаха приблизительно равно 200 метрам. В этом случае эта величина настолько велика, что взрыв боеголовки "Патриота" почти наверняка был вызван не самой ракетой SCUD, а самоподрывом ракеты "Патриот" после промаха (или, возможно, перехватом одного из обломков ракеты SCUD после ее разрушения). Это показывает, что взрыв боеголовки "Патриота" произошел, скорее всего, в следе ракеты SCUD или вблизи него. В этом случае влияние фактора  $\sin \alpha$  должно сократиться, и реальное расстояние промаха должно быть много больше 200 метров.

Два изученных случая могут дать лишь грубые оценки диаметров огненных шаров от взрыва ракет "Патриот" (в частности, из-за необычных траекторий некоторых ракет SCUD, показанных на видеосюжете). Тем не менее, изученные случаи ясно доказывают, что наблюдаемые ночью огненные шары взрывов боеголовок "Патриотов" по крайней мере в несколько раз больше огненных шаров с диаметром в 25 метров, наблюдавшихся в дневное время на испытательных полигонах.

Полезно рассмотреть также, какую информацию

о диаметрах огненных шаров можно извлечь из анализа набора данных о большом числе попыток перехвата. В табл. Б-2 показано отношение диаметра огненного шара от взрыва боеголовки "Патриота" к перемещению ракеты SCUD за один видеокادر для 21 попытки перехвата. Все попытки перехвата, включенные в табл. Б-2, классифицированы как очевидные промахи, поскольку только для них можно непосредственно определить величину данного отношения.<sup>74</sup> В табл. Б-2 показано, что во всех случаях диаметр огненного шара "Патриота" больше перемещения ракеты SCUD за один видеокادر. Учитывая, что включенные попытки перехвата относились к 14 различным столкновениям, которые наблюдались при разных положениях видеокамер, можно с уверенностью утверждать, что типичный диаметр огненного шара "Патриота" сравним или больше перемещения ракеты SCUD за один видеокادر (равного примерно 70 метрам при типичной высоте перехвата в 10 километров).

Из табл. Б-2 видно, что отношение диаметра огненного шара "Патриота" к кажущемуся перемещению ракеты SCUD за один видеокادر лежит в пределах от 1,2 до 18. В среднем диаметр огненного шара "Патриота" в 4,9 раза больше кажущегося перемещения ракеты SCUD за один видеокادر. Если мы исключим три попытки перехвата, в которых это отношение очень велико (более 10), то среднее значение отношения станет равным 3,2.

Для интерпретации этих отношений мы должны знать типичный интервал углов  $\alpha$ . Его можно оценить из простой геометрической модели. Эта модель основана на двух предположениях.

Для интерпретации этих отношений мы должны знать типичный интервал углов  $\alpha$ . Его можно оценить из простой геометрической модели. Эта модель основана на двух предположениях.

Во-первых, ракета SCUD движется от точки перехвата к земле под постоянным углом к горизонту,

Таблица В-2

В этой таблице перечислены параметры траектории ракеты SCUD, использованные в нашем анализе. Предполагалось, что до разрушения ракеты на высоте в 11,4 километра ее баллистический коэффициент равнялся 3000 фунтов на квадратный фут, а после разрушения он уменьшился до 1000 фунтов на квадратный фут.

Дата	Место	Число перехватов	Отношение
9 февраля	Тель-Авив	1	3,4
		2	1,9
		3	3,1
11 февраля	Тель-Авив	1	2,4
		2	1,5
		4	1,5
12 февраля	Тель-Авив		5,9
19 февраля	Тель-Авив		> 11,5
21 января	Эр-Рияд, ракета 3		6,9
25 января	Эр-Рияд, ракета 2	1	15,4
26 января	Эр-Рияд		3,2
3 февраля	Эр-Рияд	1	5,4
		2	3,1
8 февраля	Эр-Рияд	1	2,4
		2	1,2
23 февраля	Эр-Рияд		4,2
20/21 января	Дахран		1,4
26 января	Дахран	1	5,0
		2	3,3
		3	1,6
Неизвестна	Неизвестно	1	17,9
Среднее			4,8
Среднее без трех попыток перехвата с максимальными отношениями (более 10)			3,2

<sup>a</sup> Для того, чтобы сделать оценку консервативной, мы принимали (за одним исключением), что минимальный размер огненного шара наблюдается на первых пяти видеокадрах после взрыва боеголовки "Патриота" (это объясняет, в частности, для второй ракеты в Эр-Рияде 25 января отношение равно 15, в то время как в основном тексте цифровано значение 24, которое было получено по измерению первого видеокadra после взрыва). Поскольку огненные шары, как правило, несимметричны, мы принимали за его диаметр среднее значение "ширины" и "высоты". Единственное исключение связано с сюжетом, на котором открытие затвора практически совпало с моментом взрыва и огненный шар был виден как яркая точка. В этом случае мы рассчитывали среднее значение по видеокадрам со второго по пятый.

равным  $45^\circ$ . Как следует из траекторий, представленных на рис. В-2 и В-3, такое предположение должно быть оправдано для многих имеющихся на видеосюжетах столкновений.

Во-вторых, попытка перехвата происходит на высоте в 10 километров. Такое предположение разумно для типичной попытки перехвата, хотя известно, что некоторые наблюдавшиеся попытки происходили на меньших высотах, и вполне вероятно, что часть попыток перехвата происходила на больших высотах.

Геометрия принятой нами модели показана на рис. В-5. Видеокамера расположена в начале системы координат  $x, y, z$ , а ось  $z$  направлена по вертикали. Предполагается, что ракета SCUD движется в плоскости  $x, z$  (это означает, что проекция ее траектории на земную поверхность совпадает с осью  $x$ ). Точка падения ракеты SCUD определяется в полярных координатах ее расстоянием от видеокамеры  $R$  и углом  $\phi$ , отсчитываемым от оси  $x$ . Таким образом, значение  $\phi = 0^\circ$  соответствует кажущемуся движению ракеты

SCUD прямо на камеру с недолетом, а значение  $\phi = 180^\circ$  - прохождению прямо над камерой с перелетом.

Координаты точки падения в этом случае определяются выражениями  $x = R \cos \phi$ ,  $y = R \sin \phi$ ,  $z = 0$ , а координаты точки перехвата, расположенной под углом в  $45^\circ$  на высоте 10 километров над точкой падения, будут определяться соотношениями  $x = R \cos \phi + 10$ ,  $y = R \sin \phi$ ,  $z = 10$ , где  $R$  выражено в километрах. Поскольку направление скорости ракеты SCUD фиксировано под углом в  $45^\circ$  к горизонту, расчет угла  $\alpha$  довольно прост. Результаты расчета показаны на рис. В-6; на нем приведена зависимость величины  $\sin \alpha$  от угла  $\phi$  при нескольких значениях  $R$  (расстояния от камеры до точки падения ракеты SCUD в километрах).<sup>75</sup>

Каковы типичные расстояния точек падения от видеокамеры? Рассмотрим ситуацию в Тель-Авиве. Известны 16 точек или приближенных положений точек падения ракет SCUD в Тель-Авиве или в его окрестностях.<sup>76</sup> Как правило, телеоператоры снимали из тех же отелей, где они проживали, и для

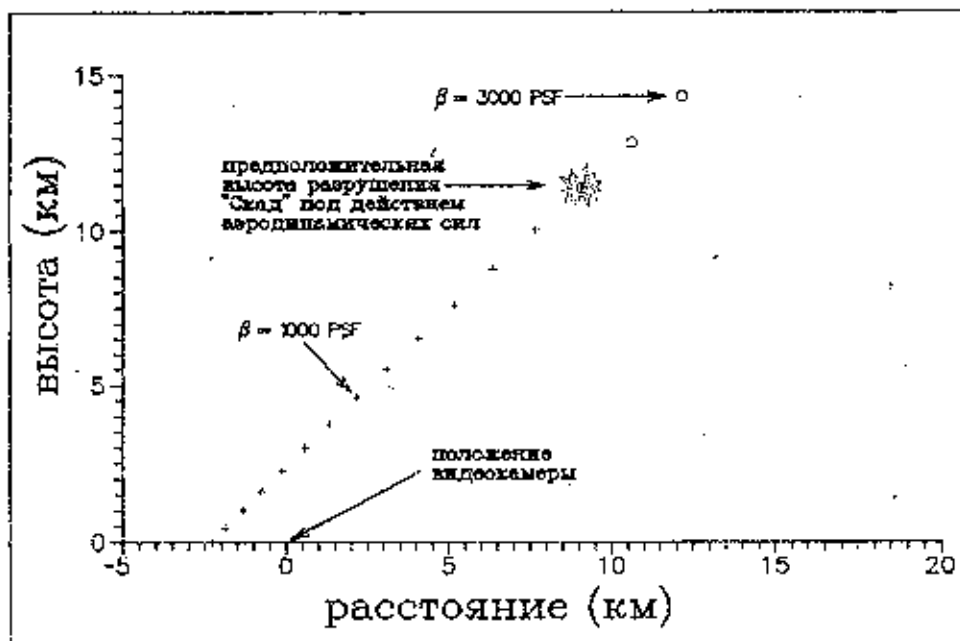


Рисунок В-3

Геометрия наблюдения второго боевого столкновения в Эр-Рияде 25 января. Предполагается, что точка падения ракеты SCUD, точка перехвата и точка положения видеокамеры лежат в одной плоскости. Точка перехвата не показана, поскольку ее высота неизвестна.

обсуждения мы предположим, что камера располагалась в Тель-Авивском отеле "Хилтон". Точки расположения 14 точек падения ракет SCUD для этого варианта отмечены на рис. В-6.<sup>77</sup> Как мы видим из этого рисунка, значения величин  $\sin \alpha$  лежат в интервале от 0,14 до 0,57 со средним значением 0,30.<sup>78</sup>

Произведем среднее отношение диаметра огненного шара "Патриота" к перемещению ракеты SCUD за один видеокадр и среднее значение  $\sin \alpha$  могут служить для определения "среднего" диаметра огненного шара по отношению к расстоянию, проходимому ракетой SCUD за один видеокадр (около 70 метров на типичной высоте перехвата в 10 километров). Это произведение равно  $(3,2 \pm 4,9) \cdot 0,30 = 0,96 \pm 1,47$ , что приводит к оценке диаметра огненного шара, равной  $(0,96 \pm 1,47) \cdot 70 = 67 \pm 103$  метра.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### РАДИУС ПОРАЖЕНИЯ БОЕГОЛОВКИ "ПАТРИОТ" И ЕЕ ВЗРЫВАТЕЛЬ

В этом приложении рассматриваются некоторые из особенностей системы взрывателя ракеты "Патриот", которые определяют возможность ракеты успешно поразить боеголовку приближающейся ракеты

SCUD. С конца войны в Персидском заливе стали появляться вызывающие доверие и повторяющиеся сообщения о том, что система взрывателя ракеты "Патриот" не была достаточно адекватно настроена на цели ракет SCUD.<sup>79</sup> В этом приложении мы рассмотрим опубликованные в открытой печати сведения о технических особенностях системы взрывателя ракеты "Патриот" и ее боеголовки, показывающие, что эти сообщения могут оказаться правильными и что система взрывателя могла подавать команду на подрыв слишком поздно для того, чтобы боеголовка ракеты SCUD могла быть уничтожена.

Боеголовка PAC-2 и система ее взрывателя были разработаны против ракет, аналогичных советским ракетам SCUD-B, с дальностью около 300 километров, и были испытаны против подобных целей. Тем не менее, во время войны в Персидском заливе ракеты "Патриот" использовались против модифицированных иракских ракет SCUD с дальностью 600 километров, которые входили в атмосферу со скоростью, примерно на 40% большей, чем ракеты SCUD-B. В результате этого скорость сближения ракеты "Патриот" с целью была больше проектной скорости ее системы взрывателя. Вполне возможно, что из-за повышенной скорости сближения боеголовка ракеты "Патриот" подрывалась слишком поздно для того, чтобы уничтожить боеголовку ракеты SCUD.

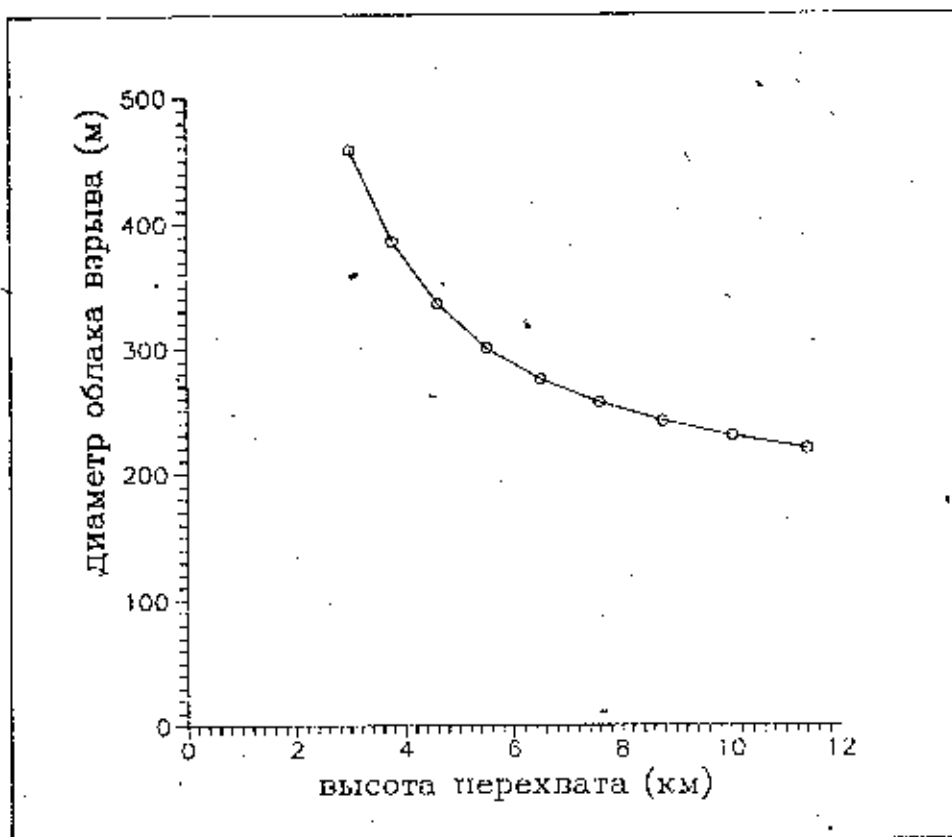


Рисунок Б-4

Оценка зависимости диаметра огненного шара ракеты "Патриот" от высоты перехвата для первой попытки перехвата второй ракеты SCUD 25 января 1991 года в Эр-Рияде. Диаметр огненного шара рассчитывался в геометрии, показанной на рис. Б-3. Расчет проводился, поскольку высота перехвата неизвестна.

Система "Патриот" уничтожает цель, подрывая вблизи нее осколочную боеголовку. Когда боеголовка "Патриота" взрывается в расчетное время, облако ее стальных осколков летит в направлении цели, повреждая или уничтожая ее. Как мы покажем ниже, осколки боеголовки "Патриота" разлетаются со скоростью, меньшей скорости сближения перехватчика и цели. Если боеголовка будет подорвана позже расчетного времени, то ее осколки не смогут поразить носовую часть ракеты SCUD, в которой находится ее боеголовка, и боеголовка выйдет из столкновения неповрежденной. Мы покажем ниже, что система взрывателя боеголовки PAC-2 не сможет обнаружить подлетающей ракеты SCUD почти до самой последней точки в которой взрыв боеголовки "Патриота" еще сможет повредить боеголовку ракеты SCUD. Это увеличивает вероятность того, что взрыв боеголовки "Патриота" запаздает и не будет иметь никаких шансов поразить боеголовку ракеты SCUD.

При перехвате ракет типа SCUD ракетами "Патриот" последние направляются как можно ближе к траектории полета цели, двигаясь по ней во встречном направлении, так что оба объекта движутся навстречу друг другу. Мы будем обсуждать здесь именно такую геометрию перехвата. Большая скорость сближения между двумя объектами (ее типичное значение составляет от 3,0 до 3,5 км/сек<sup>80</sup>) приводит

к тому, что угловое распределение осколков боеголовки "Патриота" в системе покоя цели будет сосредоточено в направленном вперед конусе. Геометрия перехвата показана на рис. В-1.

Угол раскрытия показанного на рис. В-1 конуса зависит от отношения скорости разлета осколков боеголовки "Патриота" к скорости относительного сближения ракеты и цели. Взрывчатое вещество в боеголовке "Патриота" — это Октол, а отношение массы заряда  $C$  к массе разлетающихся осколков  $M$  равно  $C/M = 1,1$ .<sup>81</sup> Скорость разлета осколков можно оценить по следующей формуле:<sup>82</sup>

$$V = G \left( \frac{C/M}{1 + C/2M} \right)^{1/2}$$

где  $G$  — это постоянная Герни, равная для Октола 2,965 м/сек.<sup>83</sup> Рассчитанная по этой формуле скорость разлета осколков равна 2,5 км/сек. Эта формула была выведена для длинных цилиндров, и реальная скорость разлета из-за влияния концевых эффектов будет несколько ниже. Половинный угол раскрытия конуса разлета осколков в системе покоя цели определяется выражением  $\alpha = \arcsin(V/V_{rel})$ , где  $V$  — скорость разлета осколков, а  $V_{rel}$  — относительная скорость сближения. В нашем случае этот угол равен  $\alpha = \arcsin(2,5/3,5) = 46^\circ$ .<sup>84</sup> Таким образом, для уничтожения боеголовки ракеты SCUD необходимо,



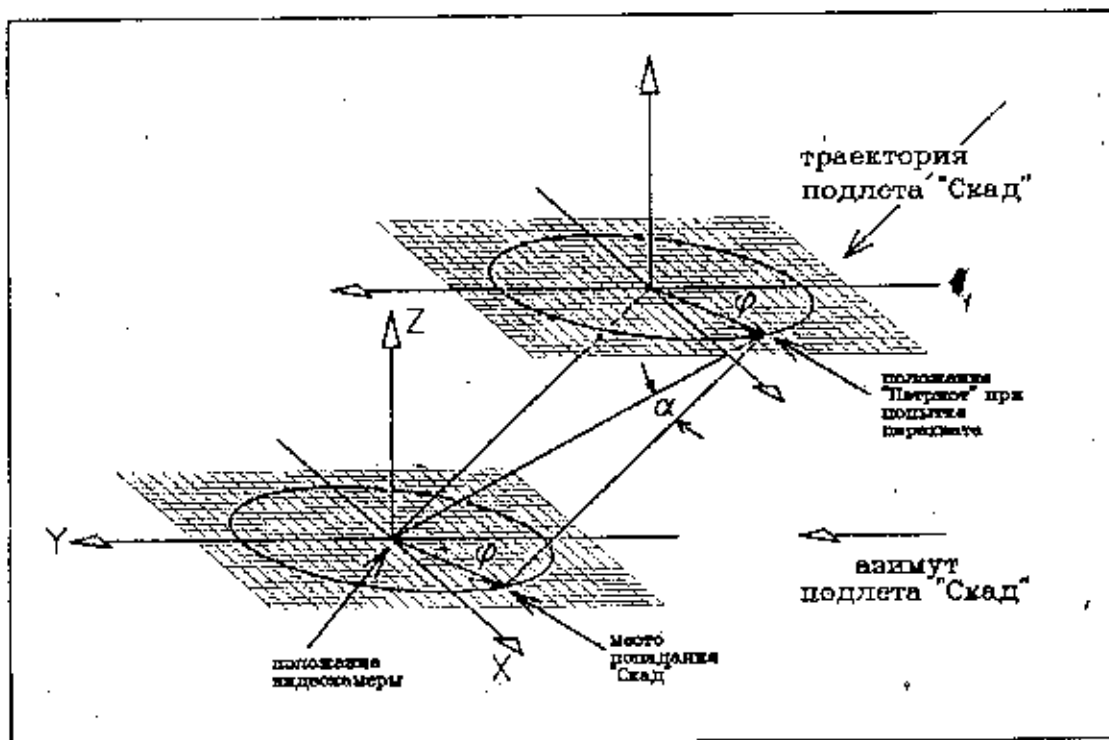


Рисунок В-5

Геометрия, использованная при оценке величины  $\alpha$  (угла между вектором скорости ракеты SCUD и линией зрения телекамеры) в зависимости от положения точки падения ракеты по отношению к камере. В модели предполагается, что перехват происходит на высоте в 10 километров и что направление вектора скорости ракеты постоянно и составляет угол в  $45^\circ$  к горизонту. После этих предположений расчет величины  $\alpha$  в зависимости от расстояния точки падения от камеры и угла  $\phi$  между направлением подхода ракеты SCUD и линией от расположения камеры к точке падения боеголовки ракеты SCUD диаметра ракеты "Лэнс", т.е. 25 или 30 метров.

чтобы боеголовка "Патриота" взорвалась внутри конуса с вершиной в носовой части боеголовки ракеты SCUD и половинным углом раскрытия в  $46^\circ$ .

В боеголовке PAC-2, применявшейся в войне в Персидском заливе, устанавливался один или несколько взрывателей с полосовыми антеннами на боковой поверхности ракеты.<sup>85</sup> Антенны импульсного доплеровского радиолокатора формировали два пучка: широкий пучок, направленный в сторону, который применяется в противозащитном варианте, и узкий, направленный вперед и вбок, который применяется в противоракетном варианте.<sup>86</sup> Узкий пучок направлен под углом в  $40^\circ - 55^\circ$  к оси ракеты.<sup>87</sup> Если ракета "Патриот" проходит достаточно близко от цели, то система взрывателя обнаруживает цель, когда она проходит через узкий пучок, и подает сигнал на взрыв боеголовки. Геометрия работы системы взрывателя "Патриота" показана на рис. В-2.

Рис. В-2 показывает, что из сравнения конуса разлета осколков боеголовки ракеты "Патриот" и конусов диаграмм направленности радиолокаторов системы взрывателя следует, что для того, чтобы осколки боеголовки "Патриота" имели хотя бы ма-

лейший шанс поразить хотя бы заднюю поверхность боеголовки ракеты SCUD, система взрывателя должна работать практически мгновенно и безошибочно. Так, например, когда ракеты движутся по антипараллельным траекториям и их оси находятся на расстояниях в пять метров друг от друга, то носовая часть боеголовки ракеты SCUD пересечет конус радиолокатора тогда, когда ракета SCUD будет на 4,2 метра впереди ракеты "Патриот".<sup>88</sup> В этом расчете предполагалось, что половинный угол раскрытия передней границы диаграммы направленности радиолокаторов системы взрывателя равен  $40^\circ$ , и что антенны находятся на боковой поверхности "Патриота" на расстоянии 1,8 метра от носовой части. Всего на одну миллисекунду позже, когда ракета SCUD будет на полметра впереди "Патриота", боеголовка "Патриота" выйдет из конуса, в котором было возможно поражение боеголовки ракеты SCUD осколками. Чтобы уничтожить боеголовку ракеты SCUD, система взрывателя "Патриота" должна обеспечить подрыв боеголовки на отрезке относительного перемещения длиной в 3,7 метра, который происходит всего за одну миллисекунду. Если расстояние между осями

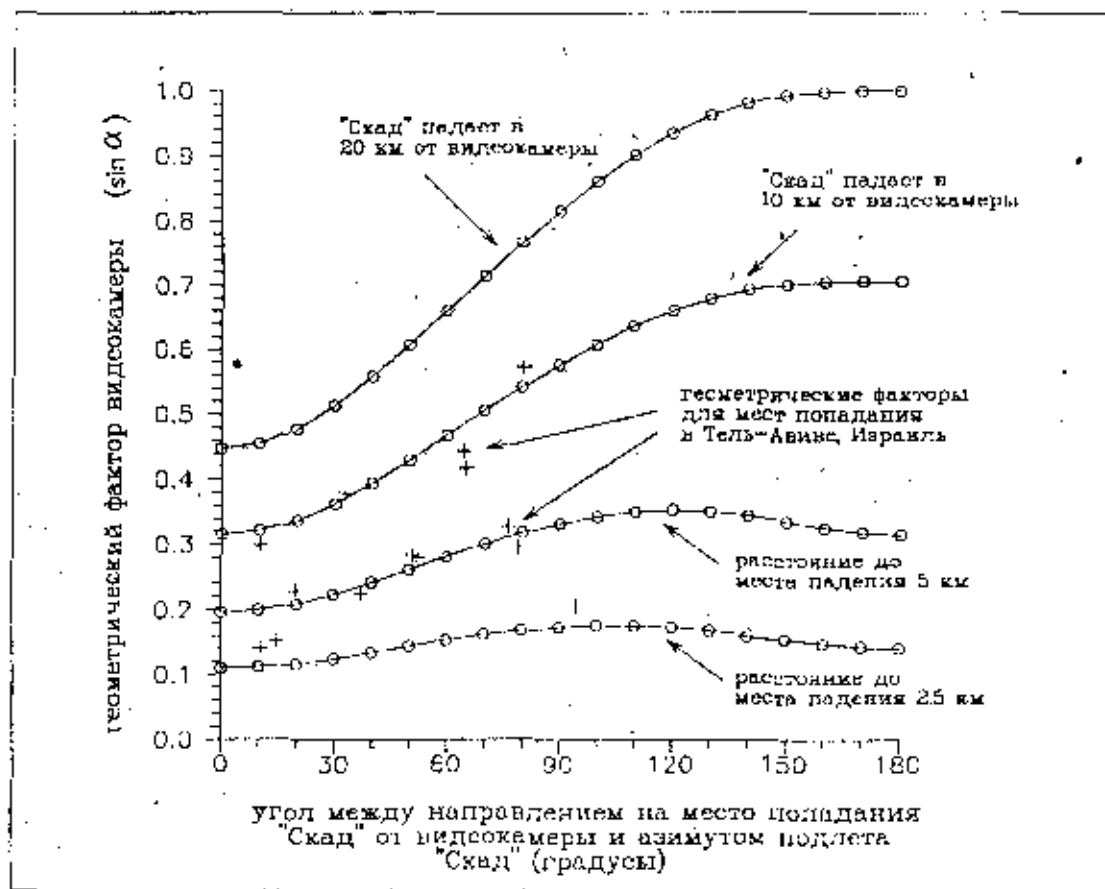


Рисунок Б-6-

Зависимость величины  $\sin \alpha$  от расстояния точки падения ракеты SCUD до видеокамеры и от угла  $\phi$  между линией от видеокамеры до точки падения ракеты и направлением полета ракеты. Геометрия, использованная для расчета величины  $\sin \alpha$ , показана на рис. Б-5. Четыре сплошных линии соответствуют расстояниям до точки падения, соответственно равным 2,5; 5; 10 и 20 километрам от камеры. Показана зависимость только от положительных углов  $\phi$ , поскольку рассчитываемая величина при изменении знака этого угла не меняется. Кружочки показывают значения  $\phi$ ,  $\sin \alpha$  и расстояния до точки падения для 14 известных точек падения ракет SCUD в Тель-Авиве в предположении, что камера располагалась в Тель-Авивском округе "Хилтон".

ракет будет равно не 5, а 20 метрам, то боеголовка ракеты SCUD пересечет конус обнаружения, когда она будет впереди ракеты "Патриот" на 22 метра, а боеголовка "Патриота" выйдет на зоны возможного поражения всего через две микросекунды, когда ракета SCUD еще будет находиться на 15 метров впереди "Патриота". Таким образом, для уничтожения боеголовки цели боеголовка "Патриота" должна взрываться не на минимальном расстоянии от цели, а впереди нее. Расстояние, на котором должна подрываться боеголовка, зависит от расстояния между осями ракет. Кроме того, подрыв боеголовки "Патриота" за боеголовкой ракеты SCUD никогда не подрывит ее.

Проведенный здесь анализ показывает, что при принятых нами предположениях система взрывателя "Патриота" способна подрывать боеголовку таким образом, чтобы ее осколки попали в боеголовку ра-

кеты SCUD. Однако, пределы ошибки очень невелики, они соответствуют всего лишь 3,5 метрам по отношению к времени или одной микросекунде по времени при расстоянии между осями ракет в пять метров.

Тем не менее, небольшие отклонения от близких к идеальным параметрам нашей модели могут привести к ситуации, когда система взрывателя вообще не сможет реагировать достаточно быстро, чтобы уничтожить боеголовку ракеты SCUD до того, как она пролетит мимо ракеты "Патриот". Можно указать на два возможных ограничения, не связанных с техническими особенностями системы.

Во-первых, как отмечалось выше, наша оценка скорости осколков боеголовки "Патриота", скорее всего, слишком оптимистична. Если реальная скорость будет на десять процентов меньше (т.е., 2,25 км/сек), то половинный угол раскрытия конуса раз-

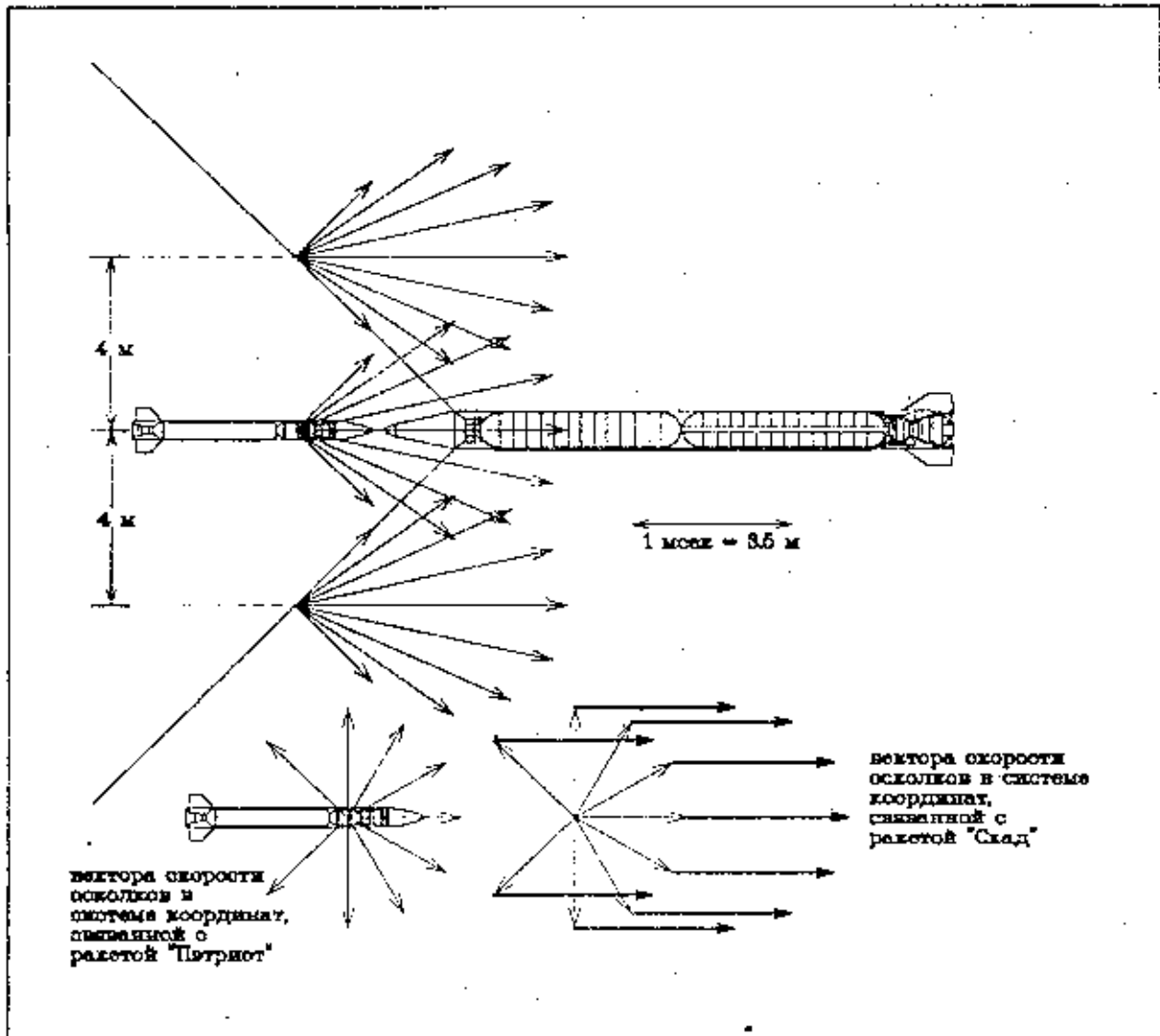


Рисунок В-1

Геометрия и временная циклограмма встречной попытки перехвата. На этом рисунке предполагается, что скорость осколков ракеты "Патриота" составляет 2,5 км/сек, а скорость сближения ракеты SCUD и "Патриота" равна 3,5 км/сек. В системе покоя ракеты SCUD большая скорость сближения приводит к тому, что угловое распределение осколков группируется вперед в конус с половинным углом раскрытия около  $46^\circ$ . Так что для того, чтобы осколок смог ударить в боеголовку ракеты SCUD, нужно, чтобы взрыв произошел в коническом объеме перед боеголовкой ракеты SCUD.

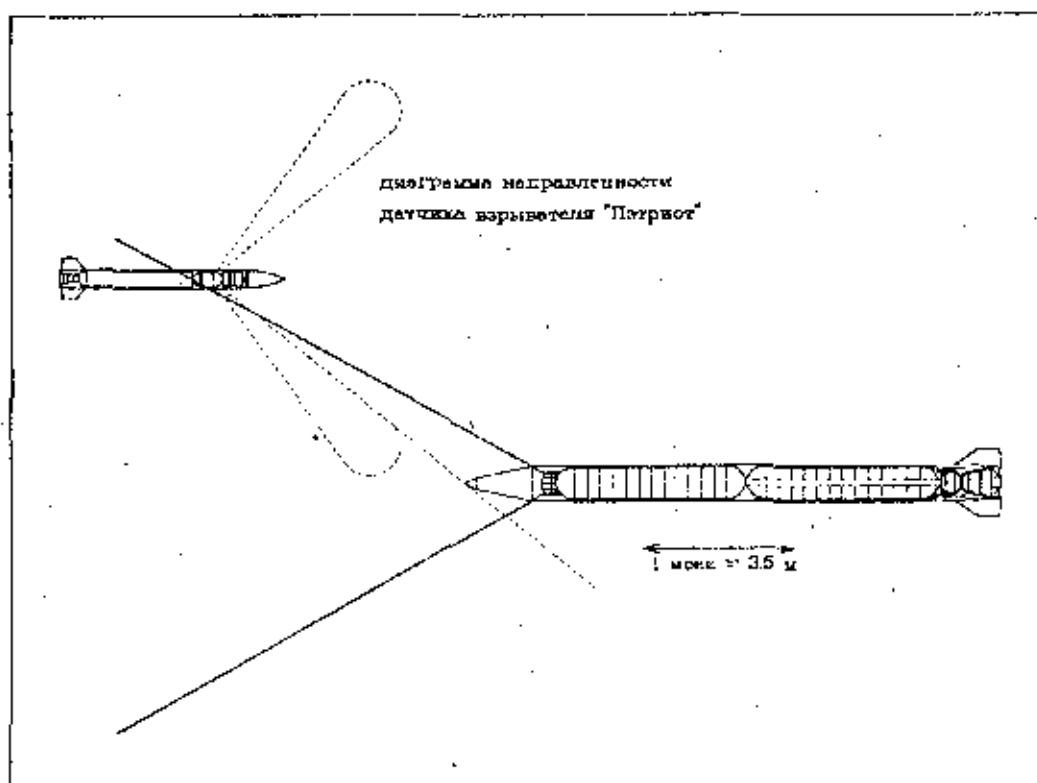


Рисунок П-2

Геометрия подрыва боеголовки в попытке перехвата ракеты SCUD. Предполагалось, что скорость сближения равна 3,5 км/сек; расстояние в 3,5 метра, на которое объекты сближаются за одну миллисекунду, показано на чертеже стрелкой ниже ракеты SCUD. Для того, чтобы осколки боеголовки могли поразить боеголовку ракеты SCUD, ее подрыв должен произойти внутри конуса, ограниченного прямой линией. Границы диаграммы направленности радиолокатора взрывателя, расположенные под углами в  $40^\circ$  и  $55^\circ$  под углом к оси ракеты "Патриот", показаны пунктирными линиями. Предполагается, что взрыватель расположен рядом с боеголовкой "Патриота". Диаграмма направленности радиолокатора пересекается с носовой частью ракеты SCUD за очень очень короткое время до потери возможности ее разрушения.

лета осколков уменьшится до  $40^\circ$  (что совпадает с половинным углом раскрытия конуса диаграммы направленности радиолокатора) и допустимая величина задержки срабатывания системы взрывателя уменьшится до 0,6 миллисекунды.

Во-вторых, начальный радиолокационный сигнал от заостренной носовой части боеголовки ракеты SCUD довольно слаб и может быть не обнаружен радиолокатором "Патриота". Поэтому следует ожидать, что регистрация сигнала будет происходить несколько позже. Если регистрация сигнала произойдет тогда, когда носовая часть боеголовки ракеты SCUD достигнет средней поверхности диаграммы направленности радиолокатора (в нашей модели - конуса с половинным углом раскрытия в  $47,5^\circ$ ), то допустимая величина задержки уменьшится до 0,5 миллисекунды. Если к этому добавить уменьшение скорости разлета осколков, то допустимая величина задержки уменьшится до нуля. Если система взрывателя будет

срабатывать только тогда, когда до центральной поверхности дойдет секция ракеты SCUD с максимальным диаметром, то осколки от взрыва боеголовки "Патриота" не смогут достичь боеголовки ракеты SCUD ни при каких условиях.

Представленный здесь анализ, основанный на лучших данных, известных из открытой печати, не позволяет, тем не менее, дать ответ, при каких относительных скоростях сближения и других геометрических параметрах система взрывателя сможет обеспечить поражение боеголовки ракеты SCUD осколками боеголовки "Патриота". Для этого требуется более детальная и недоступная для публики информация о системе "Патриот", включающая данные об угловом распределении разлетающихся осколков при взрыве боеголовки, о их распределении по скоростям, о деталях диаграммы направленности радиолокаторов системы взрывателя. Кроме того, относительная скорость сближения и геометрия сто-

люновения меняются в каждой конкретной попытке перехвата, и эти факторы будут сильно влиять на возможный исход попытки перехвата.

Тем не менее, представленный здесь анализ представляет неплохую качественную картину требований, которым должна удовлетворять система взрывателя "Патриота" для уничтожения боеголовок ракет SCUD. Он также ясно доказывает, что цитированные в начале этого приложения сомнения в эффективности системы взрывателя "Патриота" при попытках перехвата ракет SCUD вполне обоснованы. Причиной возникающих проблем может быть неспособность радиолокаторов системы взрывателя обнаружить передний фронт сигнала, отраженного от носовой части ракеты SCUD, до того, как она не перейдет границы, за которой уничтожение ее боеголовки осколками "Патриота" станет невозможным. Изученные нами видеосюжеты войны в Персидском заливе показывают, что во крайней мере в двух попытках перехвата ракета SCUD была безусловно поражена взрывами боеголовок "Патриота", но, несмотря на это, ее боеголовка не была уничтожена. Это полностью согласуется с предположением о том, что система взрывателя ракеты "Патриот" была неспособна адекватно противодействовать иракским ракетам SCUD.

Понимание особенностей функционирования системы взрывателя "Патриота" является ключевым моментом для наиболее эффективного использования системы "Патриот". Например, если взрыватель "Патриота" фактически неспособен уничтожить боеголовку ракеты SCUD при скорости сближения в 3,5 км/сек, то, может быть, было бы более эффективно попытаться перехватывать ракеты на меньшей высоте, где скорости сближения меньше. Если считать проблему эффективности взрывателя "Патриота" серьезной, то следовало бы ожидать, что она подвергнется детальному анализу Сухопутных войск США как во время войны в Персидском заливе, так и после нее. Напротив, согласно Главному финансовому управлению, Сухопутные войска не использовали никаких (хотя и ограниченных) данных из опыта войны в Персидском заливе для анализа работоспособности системы взрывателя "Патриота":

"Результаты компьютерных расчетов также не предоставили информации о том, сможет ли взрыватель "Патриота" достаточно быстро разгипировать, чтобы уничтожить ракету SCUD. Инженер проектного управления сказал нам, что знание скорости относительного сближения ракеты и цели позволит определить, успеет ли система взрывателя известить и сработать до того, как ракета SCUD пройдет точку перехвата. Он сказал, что эту информацию можно определить из записанных данных. Однако, руководители проекта не стали обрабатывать эту информацию, поскольку они не считали, что ее использование улучшит показатели оценок эффективности. Эти дополнительные данные не показали, что боеголовка "Патриота" взрывалась достаточно близко к ракете SCUD, для того, чтобы уничтожить ее".<sup>89</sup>

ССЫЛКИ И ПРИМЕЧАНИЯ

1. См. John Conyers, Jr., "The Patriot Myth: Caveat Emptor", Arms Control Today, November 1992,

pp. 3 - 10, и Eric Schmidt, "Israel Plays Down Effectiveness of Patriot Missile", New York Times (International Edition), 19 October 1992, p. A8; Ethan Bronner, John Aloysius Farrell, "US, Israeli Experts Dispute Patriot Claims", Boston Globe, 19 March 1992, p. 1.

2. Если мы будем считать, что общее число атак равно 46, то объявленные Сухопутными войсками США значения эффективности атак приводят к следующему:

Израиль

17 атак · 40 % = 7 успехам
Саудовская Аравия
29 атак · 70 % = 20 успехам
Итого
= 27 успехам

Поскольку Сухопутные войска США объявили, что 52 процента атак привели к уничтожению боеголовок, то

46 атак · 52 % = 24 поражением боеголовок

Приведенные выше расчеты позволяют сделать вывод, что в трех оставшихся случаях, расцененных как успешные, ракеты "Патриот" отклонили боеголовки ракет SCUD от расчетной траектории и защищаемого района, не уничтожив самой боеголовки, или привели к детонации боеголовки с пониженной мощностью взрыва (т.е., предотвратили выполнение боевой задачи).

3. Следует отметить, однако, что приглата в Сухопутных войсках США классификация атаки как поражения боеголовки с "высокой уверенностью" может привести к недоразумениям. Присвоение такой категории означает только то, что уверенность экспертов в поражении боеголовки в этих случаях больше, чем в тех случаях, когда армейские эксперты считают, что имеется определенная вероятность успеха. В обзоре Главного финансового управления по оценкам отчетов Сухопутных войск США по эффективности ракет "Патриот" отмечается, что:

"Согласно мнению заместителя руководителя проекта, присвоение уровня высшей уверенности результату атаки не означает, что Сухопутные войска абсолютно уверены в правильности оценки результата атаки. Это означает только, что при ограниченном объеме данных для оценок армейские эксперты больше уверены в оцениваемом результате этой атаки, чем в других случаях."

См. US General Accounting Office, "Operation Desert Storm: Data Does not Exist to Conclusively Say How Well Patriot Performed", GAO/NSIAD-92-340, September 1992, p. 3.

4. US General Accounting Office, "Operation Desert Storm: Project Manager Assessment of Patriot Missile's Overall Performance is Not Supported", GAO/NSIAD-92-27, 7 April 1992; Steven A. Hildreth (Congressional Research Service), "Evaluation of Army Assessment of Patriot Antitactical Missile Effectiveness in the War Against Iraq", testimony prepared for the House Government Operations Subcommittee on Legislation and National Security, 7 April 1992, см. также ссылку 3. Все указанные доклады опубликованы в сборнике "Performance of the Patriot Missile in the Gulf War", Hearing before the Legislation and National Security Subcommittee of the House

- Government Operations Committee, Washington, D.C., US Government Printing Office, 1993. См. также статью John Conyers в ссылке 1.
5. В докладе Сухопутных войск США делается вывод о том, что видеосюжеты информационных агентства не будут полезны для определения успеха атаки ракеты SCUD ракетой "Патриот", см. Army Material Test and Evaluation Directorate, White Sands Missile Range, "Analysis of Video Tapes to Access Patriot Effectiveness (Rev. 1)", 31 March 1992.
  6. Несколько видеосюжетов были сняты в Хайфе, Израиль. Однако, нам не удалось изучить видеосюжеты одной из основных целей ракет SCUD, большого военного комплекса в военном городке короля Халида в Саудовской Аравии.
  7. Как правило, общая длительность столкновения, от запуска ракеты "Патриот" до удара боеголовки ракеты по земной поверхности составляла около 25 секунд. Видеосюжет для показа по телевидению, как правило, сокращается редакторами телепередачи для выделения наиболее интересных для телезрителя моментов, таких, как запуск ракеты "Патриот", взрыв боеголовки "Патриота" или взрыв ракеты SCUD при ударе по поверхности. Неотредактированный сюжет позволяет провести гораздо более полное восприятие события. На видеолентах, представленных телекомпаниями ABC News и WETA-TV, находились как отредактированные, так и исходные видеоматериалы.
  8. George N. Lewis, Theodore A. Postol, "An Evaluation of the Army Report 'Analysis of Video Tapes to Access Patriot Effectiveness', Dated 31 March 1992: A Study Performed in Response to a Request by Congressman John Conyers, Jr., Chairman of the House Government Operations Committee", Cambridge, Massachusetts, M.I.T. Defense and Arms Control Studies Program, September 1992.
  9. Хотя во время войны в Персидском заливе было запущено 158 ракет "Патриот", 24 из них были запущены случайно ("в пустое воздушное пространство"), а запуск 47 из них пытались перехватить обломки ракет SCUD. Таким образом, всего 87 ракет "Патриот" были запущены по реальным мишеням SCUD. См. Joseph Lovece, "Electronic Noise From US Gear Prompted Errant Patriots", Defense Week, 28 September 1992, p. 1.
  10. Сухопутные войска США не использовали видеокамеры для наблюдений перехватов ракетами "Патриот" ни в одном из боевых столкновений. Более того, цифровые магнитофоны для записи телеметрической информации использовались только в трех из примерно 47 столкновений. Однако, израильтяне установили полевые видеокамеры высокого разрешения вблизи Тель-Авива и записали с их помощью несколько столкновений (тем не менее, значительная часть столкновений в районе Тель-Авива происходила в условиях сильной облачности).
  11. Об одном из видеосюжетов (на котором были засняты две попытки перехвата одной ракеты SCUD) почти с полной определенностью можно сказать, что он не был снят на профессиональной видеокамере: похоже, что при его съемке использовалась инфракрасная камера ночного видения. Пока мы не знаем, откуда появился этот сюжет, хотя известно, что израильтяне снимали некоторые из столкновений на инфракрасных камерах. Сюжет с инфракрасной камеры был показан в программе "Admiral William J. Crowe: The Lessons of Modern War" на телестанции Boston PBS WGBX в 11 часов вечера 10 января 1993 года.
  12. См. статью Lewis, Postol в ссылке 8.
  13. Peter D. Zimmermann, "Report for the House Government Operations Legislation and National Security Subcommittee on 'Patriot Effectiveness (Rev 1)' and Other Related Subjects Concerning Patriot ATBM Performance During Operation Desert Storm", 14 September 1992, и ссылка 5. Сюжет также показали Lawrence S. Silverman и Kerns H. Powers, опубликованные в сборнике слушаний в Палате представителей (ссылка 4).
  14. Письмо от вице-президента компании Raytheon James W. Carter к члену Палаты представителей John Conyers, Jr., Chairman of the House Committee on Government Operations, 14 August 1992, p. 11. Это письмо приводится в сборнике слушаний в Палате представителей (ссылка 4).
  15. См. работу Peter D. Zimmermann (ссылка 13).
  16. Например, подобные аргументы против использования видеосъемки информационных агентства были приведены аналитиками ракетного полигона Уайт-Сэндс (которые полагали расстояние промаха равным 0,3 метра), см. отчет в ссылке 5.
  17. Каждый видеокادر был представлен как цифровое изображение размером в 512 пикселей в длину и 480 пикселей в высоту. Цветовая информация каждого пикселя была представлена в виде числа длиной в 24 бита, что достаточно для выражения 16,7 миллионов различных цветов или оттенков серого цвета. Для картинок в данной статье использовались всего 256 цветов, но вся цветовая информация с видеоадаптера сохранена в архиве нашей системы.
  18. Таким образом, параметры коррекции кадров 10g, 11g и 11h отличаются от параметров коррекции других кадров соответствующих видеопоследовательностей, а параметры кадров от 5a до 5d отличаются от параметров кадров от 5e до 5h (снятых другой камерой).
  19. Этот видеосюжет предоставлен компанией WETA-TV в Вашингтоне.
  20. Основная информация о системе "Патриот" и ракетах SCUD представлена в статье Theodore A. Postol, "Lessons of the Gulf War Experience with Patriot", International Security, v. 16, No. 3, Winter 1991/92, pp. 119 - 171.
  21. Предположения, использованные при расчете траектории ракеты SCUD, обсуждаются в Приложении В. Показанная на рис. 1 траектория ракеты "Патриот" рассчитана в предположении, что эта ракета стартует приблизительно вертикально, после чего ее траектория приближается к ожидаемой траектории полета ракеты SCUD.
  22. По-видимому, взрыв боеголовки произошел почти в момент закрытия затвора перед данным кадром. На это указывает диффузное свечение рядом со светящимся следом ракеты SCUD, расположенное в месте наблюдения огненного шара на следующем кадре.
  23. См. ссылку 3, стр. 6. На стр. 7 того же доклада

указывается, что "Главный инженер управления проекта "Патриот" говорил, что взрыватель боеголовки может чувствовать цель и детонировать на расстояниях, которые могут быть в шесть раз больше радиуса поражения, что приводит к весьма малой вероятности уничтожения цели. Тем не менее, система будет регистрировать поражение цели".

24. Поскольку имеющиеся сведения не позволяют точно определить диаметр огненного шара (и, кроме того, вполне возможно, что наблюдаемые диаметры огненного шара могут изменяться в зависимости от высоты и параметров видеосъемки), мы не использовали эту величину в качестве масштаба для определения промаха или попадания, или для определения расстояния промаха. Кроме того, в достаточно ярких огненных шарах наблюдается заметное дополнительное рассеяние света внутри самого огненного шара, и в этом случае кажущийся диаметр объекта будет сильно зависеть от установки яркости и контрастности телевизионного изображения (в особенности на первых кадрах после взрыва боеголовки). Например, на кадрах 5d и 6b из этой статьи одна и та же картина была получена при разных установках яркости и контрастности, и на них кажущиеся значения диаметров огненного шара различаются более чем вдвое. Тем не менее, в обсуждаемом эпизоде яркость огненных шаров не очень велика и их размеры не зависят в этом случае от установок яркости и контрастности.
25. Простой способ грубой оценки этого перехвата основан на предположении, что траектория ракеты SCUD является прямой линией, проходящей через центр огненного шара (в этом случае такое предположение приводит к небольшой ошибке). Например, первое измерение кажущегося расстояния промаха (расстояния между центром огненного шара и ракетой SCUD) на кадре 1c приводит к величине 6 миллиметров. Измерение той же величины на кадре 1f (через девять видеок кадров) дает значение в девять миллиметров. Таким образом, ракета за девять кадров переместилась на 6 миллиметров, величина неопределенности видеозображения равна примерно 0,7 миллиметра и расстояние промаха в  $6/0,7 = 9$  раз превышает неопределенность измерений.
26. В тех случаях, когда мы наблюдали очевидные промахи, учитывая большую величину промаха, представляется вероятным, что подрыв боеголовки "Патриота" происходил не при захвате цели. Напротив, во многих случаях очевидных промахов вполне вероятно, что взрыв боеголовки был вызван самоуничтожением ракеты после потери цели. Поскольку "Патриот" обычно пытается перехватить цель на встречном курсе (двигаясь по траектории цели в обратном направлении), самоуничтожение должно происходить в следе ракеты SCUD или вблизи него. Однако, в некоторых случаях очевидных промахов взрыв боеголовки может происходить при перехвате обломков корпуса ракеты, также расположенных в следе ракеты, или вблизи него.
27. После неудачного перехвата по истечении заранее заданного промежутка времени выдается

команда на самоуничтожение ракеты "Патриот" (см. ссылку 3, стр. 6).

28. См. ссылку 17.
29. Насколько можно определить из имеющейся открытой информации, почти все (или даже все) ракеты SCUD, запущенные Ираком во время войны в Персидском заливе, разрушались при входе в атмосферу (независимо от того, были ли они атакованы ракетами "Патриот", или нет). Постоянный и непрерывный след ракеты SCUD указывает на то, что на протяжении всего полета в атмосфере от ракеты отваливаются обломки. Может быть, более точно полагать, что процесс разрушения состоит из серии событий, среди которых можно выделить "главное" (связанное с отделением боеголовки от корпуса ракеты), которое наблюдалось на последовательности видеок кадров 2.
30. Наземный взрыв и огненный шар были сняты также и второй телекамерой с другого положения. Тем не менее, случаи, в которых съемки взрыва боеголовки проходились с близкого расстояния без затенений другими объектами, сравнительно редки. Единственный другой такой случай наблюдался вблизи авиабазы Дахран 23 января (тот же взрыв был снят еще на двух видеокameraх как вспышка за близлежащими зданиями). В большинстве случаев взрывы боеголовки SCUD наблюдались на вспышки на горизонте или за горизонтом.
31. Несмотря на то, что при просмотре кадров 4e и 4f может показаться, что виден четко ограниченный огненный шар, на самом деле большая часть этой области представляет собой рассеянное световое излучение.  
Как мы видели раньше, этот объект слишком велик для истинного огненного шара (облака нагретого сжимающегося газа). Истинная природа наблюдаемого явления неясна (так же, как и в случае взрыва боеголовки "Патриота"), и, без сомнения, оно имеет сложную физическую структуру.
32. Эти размеры можно оценить, исходя из того, что ширина огненного шара на кадре 4g несколько больше расстояния, пройденного ракетой SCUD в течение 6 видеок кадров (между кадрами 4a и 4b); это расстояние следует оценивать по отношению к стационарным наземным объектам, потому что в этот момент камера двигалась. Скорость ракеты SCUD в момент столкновения неизвестна, но величина 700 м/сек кажется разумной (это скорость удара для траектории, показанной на рис. 1, которая обсуждается в Приложении Б; неповрежденная ракета SCUD сталкивается с земной поверхностью со скоростью в 1,6 км/сек). Угол траектории с вертикалью перед столкновением равен примерно  $48^\circ$ , так что величина  $\sin \alpha$  будет не меньше 0,74. Скорость кажущегося движения ракеты SCUD на видеозображении равна  $0,70-0,74 = 0,52$  км/сек = 17 метрам на кадр, и при этом пройденное между кадрами 4a и 4b расстояние будет примерно равно 100 метрам.
33. Лишь относительно малая часть взрывов боеголовки ракет SCUD (примерно одна из четырех) сопровождалась жертвами или существенными разрушениями на земной поверхности. В первую

- очередь это было связано с плохой точностью этих ракет. Тем не менее, на видеозаписях можно было наблюдать несколько событий, в которых наблюдалась вспышка на земной поверхности, и, кроме того, было известно, что эти взрывы сопровождались жертвами и вызвали существенные разрушения. В Тель-Авиве такие события наблюдались 25 января (две ракеты), 9 февраля и 12 февраля. В Эр-Рияде они наблюдались 25 января (вторая ракета), 3 февраля и 11 февраля. В Дахране взрыв 25 февраля уничтожил американские казармы. Эти видеосюжеты показывают, как выглядит взрыв ракеты SCUD на расстоянии.
34. Бывший член Палаты представителей Фрэнк Хортон (который был представителем меньшинства в составе Комитета Палаты представителей по правительственным операциям во время слушаний по проблеме эффективности ракет "Патриот") недавно заявил (скорее всего, на основании секретных оценок Сухопутных войск США), что это боевое столкновение считалось успешным. См. Frank Horton, "The Patriot Debate: Part 2", Arms Control Today, January/February 1993, pp. 26 - 29.
  35. Все видеосюжеты этого перехвата были представлены нам телекомпанией ABC.
  36. Третий видеосюжет этой попытки перехвата очень похож на рассматриваемый нами второй и, вполне возможно, что он был заснят примерно с той же точки.
  37. Продолжительность работы двигателя ракеты "Патриот" примерно равна 12 секундам. Мы наблюдали только один случай перехвата, в котором двигатель "Патриота" еще работал (или только что перестал работать) при взрыве боеголовки - это четвертая попытка перехвата ракеты SCUD вблизи Тель-Авива 11 февраля (см. последовательность видеоклипов 13).
  38. На обеих камерах наблюдалась одинаковая последовательность событий.
  39. Кадр ба аналогичен кадру 5с, но установки яркости и контрастности различны.
  40. Следует ожидать, что огненный шар от взрыва боеголовки ракеты SCUD будет заметно больше огненного шара от взрыва боеголовки "Патриота", потому что ее заряд взрывчатого вещества в несколько раз больше (200 кг по сравнению с 40 кг). Тем не менее, учитывая большой разброс наблюдаемых размеров огненных шаров от взрывов боеголовки "Патриотов", не вполне ясно, будет ли эта разница определяемой.
  41. Отмечалось также, что удар осколков боеголовки "Патриота" по ракете SCUD может привести к тому, что хотя ее боеголовка и не взорвется в момент удара, она не будет взорвана и при ударе о земную поверхность. Однако, по нашим сведениям, никто не смог предложить механизма такого события, обладающего достаточно высокой вероятностью.
  42. Однако, в таких случаях наблюдаемая картина должна состоять из очень малого яркого ядра, окруженного областью рассеянного света. Наблюдаемая вспышка ракеты SCUD непохожа на такую картину.
  43. Такие облака обломков наблюдались на телевизионных видеосюжетах. Как правило, они образуются в течение нескольких десятых долей секунды после разрушения ракеты SCUD и остаются видимыми в течение нескольких секунд.
  44. Этот видеосюжет входит в каталог видеозаписей из ссылки 5 на листе VMS-8 с временной меткой 33:14.
  45. Кроме того, эта попытка перехвата произошла на очень малой высоте (менее пяти километров). Поэтому разрушение ракеты SCUD, которое обычно наблюдается на высоте в 10 километров или больше, к этому моменту было уже закончено. Тем не менее, природа процесса разрушения не совсем понятна, и вполне возможно, что оставшиеся части корпуса вместе с боеголовкой вполне достаточны для формирования второго большого облака обломков.
  46. Съемки проводились с плеча и камера двигалась в направлении уличных огней, наблюдавшихся на последовательности видеоклипов 8 (аналогичной кадрам от 5с до 5h), а большое световое пятно анноту кадров 5e - 5h находилось прямо за камерой.
  47. Такое долгоживущее облако обломков не наблюдалось после взрыва боеголовки "Патриота" с выгоревшим твердотопливным ракетным двигателем (обычная ситуация). Наблюдаемая картина похожа на облако обломков после одновременных взрывов боеголовок, происшедших через несколько секунд после запуска.
  48. На научных нами видеосюжетах наблюдались восемь наземных взрывов в районе Эр-Рияда (семь взрывов боеголовок ракет SCUD и один взрыв боеголовки ракеты "Патриот", спускавшейся на земную поверхность). После трех взрывов боеголовок SCUD получались сообщения о жертвах и разрушениях, после еще трех взрывов жертв и разрушений не было, а после еще одного - скорее всего, не было. Единственные жертвы и разрушения, не связанные со взрывами боеголовок ракет SCUD, были связаны со взрывом боеголовки ракеты "Патриот".
  49. Это описание основано на сообщениях с места столкновения и видеосъемках с места события, показанных телекомпаниями CNN и ABC.
  50. Частное сообщение Reuben Redatzur.
  51. Письмо от генерал-майора Jay M. Gardner, US Army, к члену Палаты представителей John Conyers, Jr., Chairman of the House Government Operations Committee, p. 10. Это письмо напечатано в сборнике, цитированном в ссылке 4 на стр. 277 - 308.
  52. Согласно сообщению председателя Комитета по правительственным операциям Палаты представителей Конгресса США, "При оценках, проводившихся Сухопутными войсками США, невзорвавшаяся боеголовка ракеты SCUD засчитывалась как успех при попытке перехвата ракетой "Патриот". Однако, многие из боеголовок ракет SCUD не могли взорваться вообще. Были обнаружены боеголовки, заполненные бетоном, боеголовки с очень малым зарядом взрывчатого вещества, или с нарушенной кабельной сетью в секции взрывателя. Несколько таких боеголовок были засчитаны в перечне успешных попыток перехвата даже без привлечения дополнительных данных (например, записей радиолокационных станций). Невзорвавшиеся боеголовки часто



что: "На начальном боевом действии с верней ступени или разрушалась при столкновении с земной поверхностью, но это нежелательно было по причинам 33, в которой мы были 3 апреля, по плану ситуации составили ряд необычных для нас проблем. Теперь, через три дня (первое предложение ракет в Израиле произошло 22 января, т.е. через три дня было 25 января) мы обнаруживаем, что в ней имеются ошибки. Эти ошибки произошли не потому, что программа была плохо разработана. Дело в том, что она была разработана против другого противника. И если предполагалась для противоракетных систем, то система принимать терминологично Америкой, то система разрабатывалась для противоракетных систем, но не для ракет, то встретилась она с мучительнейшей проблемой. Не так просто понять, что произошло на самом деле. Но в течение нескольких дней военные специалисты City и Израиль решили тактические проблемы, которые существовали у нас по 25 января." Эта гитара взята из выступления полковника Дэвида Чоудера, см. House of the Patriot Missile", p. 234.

Начиная с 26 января, батарея ракет "Патриот" в Израиле перешла с автоматического режима в ручной режим. Это позволило работникам выбрать из большого количества ракет наиболее удачные. Это позволило работникам выбрать из большого количества ракет наиболее удачные. Это позволило работникам выбрать из большого количества ракет наиболее удачные.

61. На видеозаписях, снятых в Израиле, обнаружено три "Патриота", сбитых на земле, и в Саудовской Аравии таких событий было обнаружено пять. Имеются и другие видеозаписи, которые показывают аналогичные картины, но они, скорее всего, представляют собой снятые с разных камерами те же самые пять событий. Член Палаты представителей John Conyers, Jr., Chairman of the House Government Operations Committee, представил Саудовским войскам City следующий письменный запрос: "Имеется ли у вас информация о том, что только в Израиле восемь ракет "Патриот" разбиты в воздухе. Правильно ли эти сообщения?". Ответ Саудовских войск Operations Committee, "Performance of the Patriot Missile", p. 279. В частности разговорах с тремя израильтянами представителями нам были сообщены три разных метода на этот вопрос: 8, 9 и 11 разбитых в воздухе ракет "Патриот". Ракета "Патриот", упавшая на землю в Хайфе, упала по алгоритму, но несколько более высоко, траектория. Однако, три других упали на землю ракет "Патриот" достигли по сравнению с другими. Каждый из этих ракет упал вверх до тех пор, пока не совершил крутой поворот и не провалился в землю. Такое поведение может указывать на наличие некоторых других проблем в системе "Патриот". Все четыре попытки перехвата этой ракеты были очень низкими промахами. До сих пор неясно, почему по этой ракете SCUD было проведено четыре выстрела с одной батареи ракет "Патриот".

62. Мы полагаем, что все 33 попытки перехвата были уникальны событиями, но, однако, мы не можем полностью исключить возможность того, что две из них были очевидными промахами и одну неперехваченной ракетой (шар) может быть видео-

60. Командир батареи "Патриот" в Израиле заявил, что: "Патриот" в Израиле сбитых ракет было несколько. Это мнение не было подтверждено ни химическим ни металургическим анализом, ни попыткой назначения осколка. Неоразвешенная боеголовка, не идентифицируется боеголовкой, не идентифицируется боеголовкой, не идентифицируется боеголовкой. Обладая анализом новоразвешенной боеголовки, мы не идентифицируем боеголовку, не идентифицируем боеголовку, не идентифицируем боеголовку. См. John Conyers, Jr., "The Patriot Debatary 1993, pp. 27, 29.

19 января, перед началом операции с ракетой "Патриот" в Израиле, боеголовка ракеты SCUD попала в многоэтажное здание в пригороде Тель-Авива. Неоразвешенная боеголовка была найдена в южном здании на первом этаже здания. Неоразвешенная боеголовка была найдена в южном здании на первом этаже здания. Неоразвешенная боеголовка была найдена в южном здании на первом этаже здания.

64. Неясно, почему некоторые из этих ракет были сбиты. Это мнение не было подтверждено ни химическим ни металургическим анализом, ни попыткой назначения осколка. Неоразвешенная боеголовка, не идентифицируется боеголовкой, не идентифицируется боеголовкой. Обладая анализом новоразвешенной боеголовки, мы не идентифицируем боеголовку, не идентифицируем боеголовку, не идентифицируем боеголовку. См. John Conyers, Jr., "The Patriot Debatary 1993, pp. 27, 29.

65. Мы полагаем, что все 33 попытки перехвата были уникальны событиями, но, однако, мы не можем полностью исключить возможность того, что две из них были очевидными промахами и одну неперехваченной ракетой (шар) может быть видео-

66. Командир батареи "Патриот" в Израиле заявил, что: "Патриот" в Израиле сбитых ракет было несколько. Это мнение не было подтверждено ни химическим ни металургическим анализом, ни попыткой назначения осколка. Неоразвешенная боеголовка, не идентифицируется боеголовкой, не идентифицируется боеголовкой. Обладая анализом новоразвешенной боеголовки, мы не идентифицируем боеголовку, не идентифицируем боеголовку, не идентифицируем боеголовку. См. John Conyers, Jr., "The Patriot Debatary 1993, pp. 27, 29.

67. Мы полагаем, что все 33 попытки перехвата были уникальны событиями, но, однако, мы не можем полностью исключить возможность того, что две из них были очевидными промахами и одну неперехваченной ракетой (шар) может быть видео-

68. Мы полагаем, что все 33 попытки перехвата были уникальны событиями, но, однако, мы не можем полностью исключить возможность того, что две из них были очевидными промахами и одну неперехваченной ракетой (шар) может быть видео-

69. Мы полагаем, что все 33 попытки перехвата были уникальны событиями, но, однако, мы не можем полностью исключить возможность того, что две из них были очевидными промахами и одну неперехваченной ракетой (шар) может быть видео-

70. Мы полагаем, что все 33 попытки перехвата были уникальны событиями, но, однако, мы не можем полностью исключить возможность того, что две из них были очевидными промахами и одну неперехваченной ракетой (шар) может быть видео-

- съемками других, ранее изученных боевых столкновений. В Приложении А эти события перечислены как третья ракета SCUD в Дахране 20/21 января и как первое столкновение с неизвестными местом и временем.
66. Имеются три видеосюжета с перекрытием огненным шаром, на которых не наблюдалось наземных взрывов. На одном из них (перечисленном в Приложении А как третья ракета SCUD по Эр-Рияду 21 января) ракета SCUD вышла из огненного шара без видимых последствий перехвата, но камера не проследила за ней до ее падения на землю. В другом случае (третья ракета SCUD на Дахран 20/21 января) ракета опять вышла из огненного шара без видимых последствий перехвата, была прослежена почти на всей траектории полета до земли, но наземного взрыва видно не было. Однако, в этом случае ракета приземлилась на большом расстоянии от камеры и, возможно, что наземной вспышки не было обнаружено по этой причине. Еще у одной ракеты, приземлившейся на большом расстоянии от камеры (Тель-Авив, 12 января), вспышка наземного взрыва была еле заметна. Более того, известно, что некоторые ракеты SCUD, не атакованные ракетами "Патриот" не взорвались при ударе о землю. Третье событие обсуждалось в тексте статьи (ракета на Тель-Авив 19 февраля). См. также обсуждение в ссылке 52.
67. См. работы из ссылки 4.
68. "Raytheon Wins Kuwaiti Contract", Aviation Week and Space Technology, 18 January 1993, p. 21.
69. Официальное название этой фотографии таково: "Patriot Intercepts Lance Missile", 11 September 1986. US Army Photo by: Optics Land/Air, WSMR, NM, photo 6. На этом снимке показан взрыв боеголовки PAC-1, предназначенной для поражения самолетов. Тем не менее, у нас нет оснований считать, что размеры огненных шаров от взрывов боеголовок PAC-2, используемых против баллистических ракет SCUD, будут заметно другими.
70. На рис. В-1 размер огненного шара в четыре - пять раз больше длины ракеты "Лэнс" (равной 6,14 метра), что соответствует 25 - 30 метрам. Отношение длины ракеты "Лэнс" к ее диаметру на этом изображении показывает, что она не была разрушена и наблюдалась почти сбоку. Мы получили видеосъемку восьми перехватов ракет "Патриотами" (похоже, один из них был показан на рис. В-1). Эти видеозображения не так четки, как оригинал фотографий на рис. В-1, но с их помощью можно производить грубые измерения диаметров огненных шаров. В двух случаях отношение диаметра огненного шара к длине ракеты было равно примерно четырем, еще в двух случаях - примерно пяти, в одном случае - около 10, а в последнем случае превышало 20 (причина появления столь большого огненного шара неизвестна; так могло произойти из-за неполного выгорания топлива в одной или в обеих ракетах). Поправок на углы зрения не делалось (во всех случаях попытки перехвата, по-видимому, наблюдались почти точно сбоку), и, по крайней мере, в некоторых случаях на изображениях была видна ракета "Патриот" длиной
- в 5,14 метра. Нельзя также исключить, что некоторые видеосюжеты представляли собой съемки одной и той же попытки перехвата с различных точек.
- Видеосюжеты с испытательных полигонов находились на следующих трех видеолентах: "Patriot ATM Capability Deployed for Multi Threat Capability", Missile Systems Division, Raytheon Company, Bedford, Massachusetts; "After Desert Storm", Independent Communication Associates, Ltd, London; and "The Patriot Missile: Hero or Hoax", элизод из серии "Investigative Reports", the Arts and Entertainment Network's.
71. См. ссылку 53.
72. Типичные высоты перехвата ранились примерно десяти километрам. Средний интервал времени полета ракеты SCUD от попытки перехвата до столкновения с поверхностью земли равнялся 11,8 секундам. Для принятой в нашем анализе траектории ракеты SCUD время полета от высоты в 10 километров до земли составляет 12 секунд.
- Среднее время полета от попытки перехвата до столкновения с землей определялось по 12 из 14 попыток, для которых оно было измерено. Из расчета среднего значения были исключены две попытки, произведенные на необычно малой высоте. Первая такая попытка произошла в Эр-Рияде 25 января (первая из указанных в списке), а вторая - в Тель-Авиве 12 февраля (ее мы обсуждали в основном тексте). Двенадцать измеренных интервалов времени таковы:

Эр-Рияд	26 января	12,4; 11,1
Дахран	26 января	13,3; 11,4; 9,3
Тель-Авив	9 февраля	15,5; 12,3; 12,0
Эр-Рияд	3 февраля	12,8; 11,5
Дахран	23 января	11,1; 8,9

73. Если мы предположим, что аэродинамические характеристики ракеты SCUD такие же, как у неповрежденной (с баллистическим коэффициентом около 3000 фунтов на квадратный фут, или около 15 тонн на квадратный метр) и что высота перехвата равна 6,7 километра, то скорость ракеты в момент перехвата будет равна 1,89 км/сек, а угол  $\alpha$  будет равен 22,4 градуса, и при этом диаметр огненного шара будет равен примерно 140 метрам.
74. В некоторых из очевидных промахов огненный шар от взрыва "Патриота" и ракета SCUD не могут одновременно поместиться на телевизоре. Кроме того, очевидный промах на видеосюжете, снятом инфракрасной камерой, не включен в анализ, поскольку внешний вид огненного шара в этом сюжете сильно отличается от внешнего вида на видеозображениях в обычном диапазоне.
75. Поскольку  $\sin \alpha$  не зависит от знака угла  $\phi$ , на графике приведена зависимость  $\sin \alpha$  только от положительных углов  $\phi$ .
76. Карта расположения точек ударов о земную поверхность показана на рис. В-6 статьи Льюиса, Феттера и Гронлунд из ссылки 53.
77. Две ракеты SCUD, упавшие на землю на большом расстоянии от отеля "Хилтон" (15 и 16 километров соответственно) не показаны на этом рисун-

ке, поскольку непонятно, предпринимались ли попытки их перехвата. Отметим, что не все показанные на рис. В-6 ракеты SCUD были атакованы, некоторые из них были запущены до ввода в действие системы "Патриот".

78. Точки, показанные на рис. В-6, в основном соответствуют значениям углов от 0 до 90 градусов. Большие значения углов маловероятны из-за того, что камера была расположена около берега моря; как правило, ракеты с большими значениями углов падали в Средиземное море. Поскольку большие значения углов соответствуют большим значениям  $\sin \alpha$ , учет ракет, падавших в Средиземное море, привел бы к большему среднему значению величины  $\sin \alpha$ .
79. В Defense News отмечалось, что, согласно израильским источникам, "...взрыватель "Патриота" часто оказывался неэффективным против тактических баллистических ракет при скорости сближения больше 2,7 километра в секунду. Согласно источникам в Израиле, во время войны в Персидском заливе типичные скорости сближения составляли 3,6 километра в секунду." Эта проблема взрывателей "Патриота" обсуждалась также на слушаниях в Конгрессе в комитете по правительственным операциям 7 апреля 1992 года. Рейвен Педадур указал, что "Последующий анализ израильских экспертов из ВВС обнаружил проблему с взрывателями "Патриотов". Они оказались неэффективными при больших скоростях сближения ракет SCUD и "Патриот"."

Впоследствии указание на недостатки взрывателей "Патриотов", применявшихся в войне в Персидском заливе, всплыли в обсуждениях наиболее важного и рекламируемого изменения в модифицируемой боеголовке PAC-3, которое связано с установкой нового мультимодового датчика в системе взрывателя: "Алан Шерер, действующий директор программ обороны против оперативно-тактических ракет в командовании противоракетной обороны Сухопутных войск США, добавил, что улучшение способности "Патриота" нацеливать и подрывать свою боеголовку обеспечит степень эффективности, отсутствовавшую в войне в Персидском заливе. Он сказал: "Мы хотим, чтобы ракета была способна поразить уязвимую точку, которая у разных ракет находится в разных местах. Так что знание нужного места подрыва - это ключ к повышению поражающей способности."

См. Barbara Opall, "Patriot Debate Resumes: Israeli Study Revises Clash on Missile Performance", Defense News, 18 November 1991, pp. 3, 37; House Government Operations Committee,

"Performance of the Patriot Missile" (ссылка 4), p. 129; George Leopold, Barbara Opall, "US Army Starts Tests on Upgraded Patriot", Defense News, 8 - 14 February 1993, pp. 4, 52.

80. На слушаниях в Конгрессе по "Патриоту" генерал-майор Джей М. Гарнер заявил, что: "Скорости сближения у нас были близки к 9 тысячам миль в час (4 км/сек)". См. US House Government Operations Committee, "Performance of the Patriot Missile" (ссылка 4), p. 218.
81. Отношение масс было определено из чертежа боеголовки PAC-2 в рекламной брошюре производителя боеголовок ("Patriot Anti-Tactical Missile Warhead", Chamberlain Manufacturing Corporation, Waterloo, Iowa). Оценки по чертежу показывают, что отношение объемов взрывчатого вещества и материала осколков составляет примерно 4,7. Поскольку осколки изготовлены из стали с плотностью в 7,8 г/см<sup>3</sup>, а плотность Октола составляет около 1,81 г/см<sup>3</sup>, отношение масс взрывчатого вещества и осколков будет равно 1,1.
82. Gilbert F. Kinney, Kenneth J. Graham, "Explosive Shocks in Air", 2nd ed., New York: Springer-Verlag, 1985, p. 27; Gordon E. Jones, James E. Kennedy, Larry D. Bertholf, "Ballistic Calculations of R.W. Gurney", American Journal of Physics, April, 1980, pp. 264 - 269.
83. См. книгу Kinney, Graham в ссылке 82, стр. 237.
84. В рассматриваемой здесь геометрии и в предположении равномерного разлета осколков во всех направлениях значение половинного угла раскрытия конуса вылета в системе покоя ракеты SCUD будет определяться осколками, летящими в системе покоя "Патриота" под углом в 135° к направлению его движения. Неизвестно, позволяет ли конструкция боеголовки "Патриота" вылет осколков назад под такими большими углами; если нет, то половинный угол раскрытия конуса будет меньше.
85. David Hughes, "Successful Test of Advanced Patriot Confirms Value of Multi-Mode Seeker", Aviation Week and Space Technology, 27 April 1992, pp. 22 - 23.
86. Mark Hewish, "War-Winning Technologies: Patriot Shows his Mettle", International Defense Review, May 1991, p. 457.
87. См. ссылку 85, стр. 23.
88. Это означает, что проекции расстояния между носовыми частями ракет на направление их движения равна 4,2 метрам.
89. См. доклад Главного финансового управления США "Operation Desert Storm: Data Does Not Exist" (ссылка 4, стр. 7).