

УДК 623.4.011

А.Б. Скорик, С.В. Ольховиков, А.С. Кириллюк

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

## ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ И СТРЕЛЬБЫ ЗУР

В статье рассматриваются вопросы допустимости используемых в классической теории стрельбы ЗУР моделей процесса наведения ЗУР и функционирования системы управления подрывом БЧ при анализе вероятности поражения цели современными и перспективными зенитными ракетами. На основе анализа реализации принципа "hit to kill" (поражение цели прямым попаданием) и концепции централизованно-сетевой технологии ведения боевых действий (Network-centric Warfare) в современных и перспективных ЗУР, делается вывод о необходимости совершенствования существующей классификации систем управления ЗУР. Предложена модифицированная модель взаимодействия систем ЗУР при обстреле цели.

**Ключевые слова:** полуактивное самонаведение, радиокоррекция, ГСН ЗУР, инерциальное управление, централизованно-сетевая технологии ведения боевых действий.

### Введение

**Постановка проблемы.** В настоящее время, в условиях ограниченного времени на подготовку специалиста ЗРВ, преподаватели факультета ЗРВ столкнулись с проблемой слабой подготовленности курсантов к изучению вопросов построения современных образцов зенитных управляемых ракет. Проведенный анализ выявил ряд проблемных вопросов общетеоретического плана в преподавании теории построения зенитных управляемых ракет и стрельбы ЗУР.

Академик Федосов Е.А. в одной из своих книг отметил. "Используя мощный аппарат моделирования, инженер получил все ответы на вопросы, которые возникают при проектировании. Именно это обстоятельство и привело к тому парадоксу, когда создаются очень совершенные конструкции ракет при достаточно скромных достижениях в аналитической теории систем наведения".

Такое несоответствие практики и теории не могло в конечном итоге не отразиться и на процессе подготовки специалистов по эксплуатации и боевому применению зенитных ракет.

Ранее, недостаток теории построения ракет частично компенсировался наличием связей с разработчиками и производителями вооружения. В силу ряда причин, сейчас эти связи практически утрачены. Проводимые в прошлом году войсковые сборы показали, что в войсках ощущается недостаток специалистов глубоко разбирающихся в принципах построения современных образцов зенитных ракет.

**Анализ литературы.** Из современных работ по теории построения ЗУР в первую очередь рекомендуем учебник [1]. Интересная математическая модель взаимодействия автопилота и системы управления ракетой приведена в работе [2]. Книга Локка [3] – это самая настоящая классика управления ра-

кетами. Учебное пособие [4] описывает принципы построения современных ЗРК.

**Цель статьи.** Провести анализ соответствия ряда классических положений теории стрельбы ЗУР современным и перспективным образцам зенитных ракет.

### Основной материал

Рассмотрим наиболее проблемные, на наш взгляд, вопросы теории стрельбы ЗУР.

Классический подход к анализу стрельбы ЗУР предусматривает разделение процесса поражения цели на этап наведения и этап поражения цели боевой частью. В соответствии с этапами стрельбы разделены система наведения и система управления подрывом боевой части. С момента старта ракеты и до попадания ракеты в некоторую окрестность цели работает система наведения. Вокруг цели существует некоторая область, называемая "мертвой зоной". В пределах этой зоны, в силу ограниченности динамических характеристик следящих систем РГС, происходит срыв слежения. В дальнейшем движение ракеты происходит либо с ускорением, соответствующим моменту срыва слежения, либо с нулевым ускорением. Работа системы наведения прекращается и начинается работа системы управления подрывом боевой части.

Система наведения ЗУР представляет собой замкнутую систему, состоящую из аппаратуры визирования цели, датчиков измерения параметров движения ракеты, бортового вычислителя для выработки команд наведения и контура стабилизации ракеты, обеспечивающего реализацию заданного управления. Контур стабилизации включает в себя ракету и автопилот, которые выполняют здесь функции исполнительного устройства и регулятора соответственно [1].

Система управления подрывом боевой части представляет определенную совокупность контактных и неконтактных датчиков и устройства управления, формирующего команду на подрыв боевой части в момент времени, обеспечивающий макси-

мальное воздействие поражающих свойств БЧ по цели.

Построенная в соответствии с таким подходом [2] модель взаимодействия систем ЗУР в процессе поражения цели представлена на рис. 1.

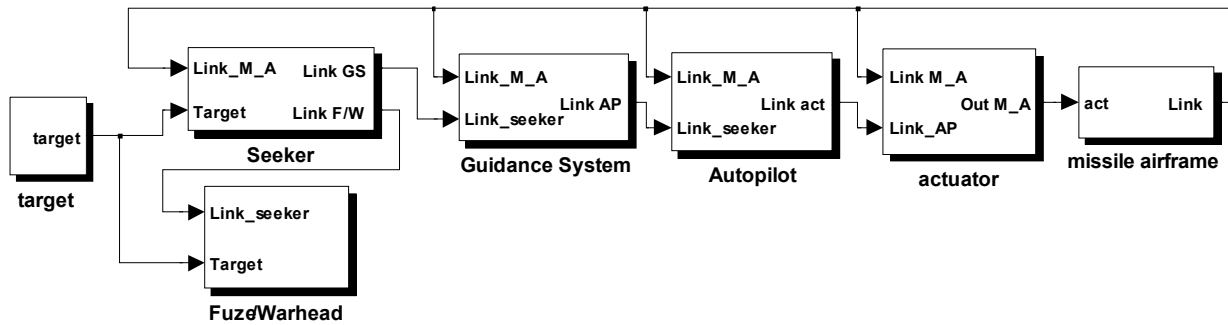


Рис. 1. Модель взаимодействия систем ЗУР в процессе обстрела цели

Одним из основополагающих в теории стрельбы понятий является вероятность поражения одиночной цели одной ракетой (ВПОЦОР)

$$P_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} G(x, y, z) \cdot \Phi(x, y, z) dx y z, \quad (1)$$

где  $G(x, y, z)$  – координатный закон поражения цели;  $\Phi(x, y, z)$  – закон ошибок стрельбы.

Запись ВПОЦОР в виде (1) не достаточно удобна для исследования. Поэтому, учитывая сделанные выше предположения о этапах стрельбы выполняются следующие преобразования. Закон  $\Phi(x, y, z)$  представляется в виде

$$\Phi(x, y, z) = \Phi_H(y, z) \cdot f_{PB}(x, y, z); \quad (2)$$

$$f_{PB}(x, y, z) = f_1(x/y, z) \cdot f_2(y, z),$$

где  $\Phi_H(y, z)$  – закон ошибок наведения;  $f_{PB}(x, y, z)$  – закон ошибок срабатывания радиовзрывателя;  $f_1(x/y, z)$  – условная плотность распределения точек срабатывания РВ вдоль оси X, при заданных ошибках наведения;  $f_2(y, z)$  – вероятность срабатывания РВ при заданных ошибках наведения.

Принимая, что ошибки в плоскостях наведения имеют характер, и заменяя их промахом в картинной плоскости – r, после интегрирования по координате X, получаем вероятность поражения одиночной цели одной ракетой (ВПЦОР)

$$P_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} G(r) \cdot \Phi(r) \cdot f_{PB}(r) dr, \quad (3)$$

где  $G(r)$  – условный круговой закон поражения цели;  $\Phi(r)$  – круговой закон распределения промахов;  $f_{PB}(r)$  – вероятность срабатывания радиовзрывателя в зависимости от промаха.

Расчеты ВПОЦОР, согласно выражения (3), позволяют с достаточной точностью оценить эффективность стрельбы для ЗРК 1-го, 2-го поколений (С-

75, С-125, С-200). Однако уже для ЗРК 3-го поколения эта оценка не в достаточной мере отражает истинную вероятность поражения цели.

Реализация в перспективных образцах вооружения принципа "hit to kill" (поражение цели прямым попаданием) и разработка принципов управления согласно концепции централизованно-сетевой технологии обеспечения боевых действий (Network-centric Warfare) коренным образом изменили подход к вопросам управления ЗУР и принципам анализа стрельбы ЗУР. Рассмотрим более подробно эти утверждения.

1. Реализация принципа "hit to kill" сделало устаревшим разделение систем ЗУР на систему наведения и систему управления подрывом БЧ.

До сих пор считается классическим, сделанное еще на начальном этапе развития систем ЗУР замечание [3]: "С точки зрения использования обстоятельств, при которых цель поражается с наибольшей вероятностью, радиовзрыватель как бы продолжает процесс наведения ракеты, не оказывая воздействия на ее органы управления... Различие между радиовзрывателями и системами самонаведения в сущности заключается только в назначении вырабатываемых команд." С современной точки зрения не существует принципиальной разницы между радиовзрывателями и системами самонаведения. Ракета, это объект управления, обладающий достаточно большой инерционностью. Проектируя систему управления ракетой, разработчики стремятся максимально уменьшить инерционность ракеты, особенно в районе точки встречи с целью. Процесс наведения ракеты разбивается на этап предварительного наведения и этап конечного наведения, на котором значительно уменьшается инерционность ЗУР (реализуется режим сверхманевренности).

Этап подрыва БЧ можно рассматривать как этап наведения ЗУР, на котором используется одиночный управляющий импульс, корректирующий

вектор скорости наводимого объекта. Поясним это положение. В настоящее время наибольшее применение нашли осколочно-фугасные боевые части, в которых в качестве основного поражающего фактора рассматривается направленный поток осколков, возникающий в момент подрыва БЧ. Наибольшая эффективность действия БЧ достигается при нахождении цели на биссектрисе области разлета осколков. Введем понятие центрального поражающего элемента (ЦПЭ) т.е. поражающего элемента, находящегося на биссектрисе области разлета осколков. При таком подходе цель конечного этапа наведения заключается в обеспечении минимального промаха ЦПЭ по обстреливаемой цели. Т.е. можно сказать, что система наведения ракеты прикладывает к ЦПЭ управляющее воздействие (энергию подрыва БЧ), обеспечивающее минимальный промах ЦПЭ по цели.

В классических системах (для которых истинно выражение (3)) управление осуществляется выбором момента подрыва. Но уже в ракетах 3-го поколения (ЗРК С-300В) управление осуществляется дополнительным разворотом ракеты по крену в сторону цели. Выражение для ВПОЦОР, учитывающее ошибки разворота ракеты по крену  $\gamma$

$$P_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\pi}^{\pi} G(r, \gamma) \cdot \Phi(r) \cdot \Phi(\gamma) \cdot f_{рв}(r) dr d\gamma, \quad (4)$$

где  $\Phi(\gamma)$  – закон ошибок наведения по крену.

В ракете 9М38М1 ЗРК "БУК-М1", информация радиовзрывателя используется для выдачи команд на автопилот ЗУР. То есть мы можем констатировать, что при невозможности реализовать следящее измерение РГС за целью, находящейся в узком луче диаграммы направленности, с помощью активного радиовзрывателя осуществляется несledящее измерение координат цели, находящейся в более широком луче. Более подробное рассмотрение принципов построения РВ ракеты 9М38М1 позволяет сделать вывод, что в нем реализованы все составляющие полноценной РЛС, которая не только измеряет дальность до цели, но и определяет высоту полета ракеты относительно поверхности земли. При несколько вольной (в формальном, но не принципиальном отношении) трактовке приведенных выше обстоятельств, мы можем сказать о том, что в ракете реализована комбинированная полуактивно/активная радиолокационная система, обеспечивающая ракету информацией о цели при дальности до цели от десятков километров до единиц метров. Управление ракетой осуществляется непосредственно до точки подрыва БЧ. Таким образом, на конечном участке наведения обеспечивается параллельная работа системы наведения и системы управления подрывом БЧ, что не соответствует классическим условиям разделения наведения и управления подрывом.

В одной из самых современных ЗУР – российской ракете 9М96 перед подрывом БЧ используется газодинамическая схема, обеспечивающая "режим сверхманевренности", т.е. конечный этап наведения можно рассматривать как двух- импульсное наведение. 1-й импульс – обеспечивают твердотопливные двигатели поперечного управления (ДПУ), 2-й импульс – энергия подрыва БЧ. За предельно короткое время (исчисляемое несколькими секундами) до встречи ракеты с целью имеет место смена 3-х способов управления: аэродинамического (рули ракеты), поперечного газодинамического (ДПУ) и импульсного газодинамического (подрыв БЧ). Аналогичные примеры можно привести и для ЗРК С-300П.

Очевидно, что имеется значительное отличие процесса стрельбы современными и перспективными ЗУР, по сравнению с ракетами, системы управления которых построены по классической схеме. Следовательно, методики расчета ВПОЦОР в новых условиях требуют серьезного научного обоснования.

Таким образом, можно сделать вывод, что для современных и перспективных комплексов ЗРК использование классических подходов для оценки стрельбы ЗУР имеет определенные ограничения и требует дополнительных теоретических исследований. Этот факт следует учитывать при преподавании соответствующих дисциплин.

2. Реализация принципов управления согласно концепции централизованно-сетевой технологии обеспечения боевых действий (Network-centric Warfare) делает устаревшей классическую классификацию систем управления ЗУР.

Согласно классического подхода [3, 4], системы управления ЗУР подразделяются на: системы с самонаведением, различные виды командного управления (телеуправление), теленаведение (наведение по лучу) и автономное управление.

*Система с самонаведением* может быть определена как система управления, в которой ракета наводится на цель с помощью устройства, находящегося на самой ракете и приводимого в действие некоторым признаком, отличающим цель.

*Система командного управления* состоит в том, что управляющая информация передается на ракету из внешнего источника, вследствие чего ракета движется по предписанной ей траектории.

Под *автономной* мы понимаем систему управления, в которой команды управления полетом выполняются на борту ракеты в соответствии с программой, задаваемой до старта.

В работе [4] приведена классификация систем управления и сказано, что возможно применение комбинированных систем управления ракетой, в которой возможна как последовательная, так и параллельная работа классических систем управления. В качестве параллельной работы систем приводится так называемое бинарное управление. При бинар-

ном управлении реализуется одновременное использование для управления ракетой телеуправления первого и второго вида (ТУ-1 и ТУ-2). При этом сигнал управления

$$\omega_{\Sigma} = (1 - \nu) \cdot \omega_{\text{н}} + \nu \cdot \omega_{\text{б}}, \quad (5)$$

где  $\omega_{\text{н}}, \omega_{\text{б}}$  – сигналы управления, сформированные соответственно по данным наземной РЛС и БРП ракеты;  $\nu$  – весовой коэффициент.

На наш взгляд рассматривать бинарное управление как параллельное управление с классических позиций достаточно сложно. Здесь мы имеем в явном виде построение комплексного измерителя, который использует информацию как от БРП, так и от РЛС для реализации телеуправления. Ведь обе составляющие команд управления  $\omega_{\text{н}}, \omega_{\text{б}}$  формируются на земле. Т.е. уже в этом примере мы видим, что при комплексировании систем управления границы между системами, которые позволяют разграничить их как параллельные начинают смазываться.

Но самый наглядный пример – это ЗРК с полуактивным самонаведением "БУК-М1". Ни в одном источнике мы не найдем и намека на то, что это комплекс с телеуправлением. Но что тогда такое "автономное управление с радиокоррекцией", используемое на начальном участке полета ракеты 9М38М1? При таком "автономном" управлении есть связь с СОУ. Рассчитывая модель относительного движения ракеты и цели, бортовой вычислитель ЗУР формирует команды наведения ракеты по методу пропорционального сближения. Т.е. БВ строит траекторию полета динамически, исходя из относительного положения ракеты и цели. Такую траекторию ни в коем случае нельзя считать программной. Следовательно, это не классическое автономное управление. Сигналы радиокоррекции позволяют корректировать расчетную модель в бортовом вычислителе ЗУР, что приводит к изменению траектории полета ракеты. В аналогичной по принципам построения системе управления авиационной ракеты Р-27 этот режим смело называют телеуправлением. Но можем ли мы с классических позиций называть этот режим телеуправлением, ведь на СОУ нет слежения за ракетой? Очевидно, нет.

На участке "самонаведения" сигнал управления ракетой формируется бортовым вычислителем как некоторая функция от сигнала модели относительного движения, сигнала РГС и сигнала радиокоррекции. С классической точки зрения организуется параллельная работа автономной системы, системы самонаведения и телеуправления 1-го вида. Однако очевидно, что это не так. Это еще раз свидетельствует о том, что в рамках классической классификации рассматривать современные системы управления ракетами очень сложно. Если при работе системы управления ракетой очень сложно разграничить параллельные системы управления, то вдвойне сложно описать их взаимодействие (тяжело найти

черную кошку в темной комнате, особенно если ее там нет).

В современных условиях рассматриваемые ранее системы управления ЗУР в лучшем случае могут выступать как режимы работы некоторой комплексной системы управления. В связи с этим возникает противоречие. При подготовке бакалавра мы должны затрачивать значительное время на преподавание классических систем только потому, что они классические. А на современные системы управления, теория построения которых описана значительно хуже, времени на обучения остается значительно меньше.

Вполне очевиден вопрос. Какие характеристики положить в основу современной комплексной системы управления ракетой? Существующая классификация в первую очередь привязана к месту формирования УПРАВЛЯЮЩЕГО СИГНАЛА.

Известный принцип автоматики гласит: "Нельзя управлять точнее, чем измерять". Зенитные ракеты относятся к высокоточному оружию (ВТО). Академик Федосов дал следующую характеристику ВТО: "Высокоточное оружие – это, прежде всего, высокая точность определения координат ракеты и координат цели". Следовательно, основной характеристикой современной комплексной системы управления ракетой является ИНФОРМАЦИЯ.

Остановимся более подробно на концепции Network-centric Warfare. Идея этой концепции перекликается с идеей глобальной сети Интернет. Главное в сети – это ИНФОРМАЦИЯ. Каждый пользователь сети является как источником, так и потребителем информации. Так вот, пользователями сети Network-centric Warfare являются как средства доставки оружия (самолеты, ЗРК и т.д.) так и оружие (управляемые ракеты, снаряды и т.д.). После пуска, оружие становится в определенном смысле независимым от средства доставки.

Получая в сети Интернет информацию, мы редко задумываемся об ее источнике, и наоборот, выкладывая информацию в сеть, мы не знаем ее потребителя. Так и здесь. На ТВД создается единая сеть, в которой позиционируются все объекты, как свои, так и противника. Каждое боевое средство, имеющее информацию о себе и о противнике, сбрасывает ее в сеть. Таким же образом каждому боевому средству доступна информация о средствах противника, по которым оно наносит удар. В результате, после пуска ракеты с истребителя F-22 координаты цели, измеряемые активной РГС ракеты AMRAAM станут доступны для ЗРК Patriot, а в качестве целеуказания ракета сможет использовать данные, поступающие с самолета ДРЛО Авакс. Для уточнения собственных координат ракета сможет использовать систему GPS.

На первый взгляд концепция Network-centric Warfare, просто фантастична. Но при более подробном анализе видно, что все основные элементы этой

системы уже присутствуют в той или иной мере в существующем вооружении. И вопрос создания такой сети это вопрос информационных технологий, которые развиваются очень быстро.

Модифицированная модель взаимодействия систем современных и перспективных ЗУР с учетом концепции Network-centric Warfare представлена на

рис.2. В данной модели главным есть информационный обмен. При таком подходе в рамках одной модели, определяя только информационное содержание каналов связи между блоками модели, мы сможем описать любую из классических, современных и перспективных систем управления ракетами.

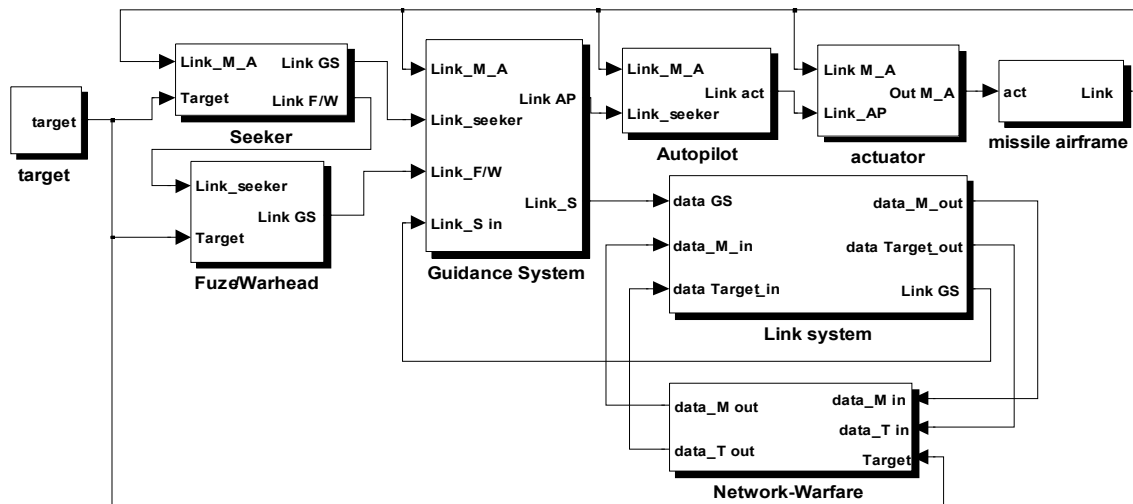


Рис. 2. Модифицированная модель взаимодействия систем ЗУР в процессе поражения цели

### Вывод

Разработка управляемых ракет нового поколения, реализующих концепции "Network-centric Warfare" и "hit to kill" кардинальным образом изменило подходы к построению систем управления ракет, что требует проведения дополнительных исследований в области теории стрельбы ЗУР.

### Список литературы

1. Проектирование зенитных управляемых ракет: Учебник / Под ред. И.С.Голубева, В.Г.Светлова. – М.: МАИ, 1999. – 725 с.

2. Menon P.K., Ohlmeyer E.J. Integrated Design of Agile Missile Guidance and Autopilot Systems // IFAC – Control Engineering Practice. – 2001. – Vol. 9. – P. 1095-1106.

3. Локк А.С. Управление снарядами. – М.: ГИИТЛ, 1957. – 775 с.

4. Бурцев В.В., Кузьм М.Я. Основы побудови багатоканальних зенітних ракетних систем середньої дальності. – Х., 2002. – 86 с.

Поступила в редколлегию 21.07.2008

Рецензент: д-р воен. наук, проф. Г.Н. Дробаха, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПОВ ПОБУДОВИ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ ТА СТРІЛЬБИ ЗКР

А.Б. Скорік, С.В. Ольховіков, А.С. Кирилюк

У статті розглядаються питання допустимості використовуваних у класичній теорії стрільби ЗКР моделей процесу наведення ЗКР і функціонування системи керування підривом БЧ при аналізі ймовірності поразки цілі сучасними й перспективними зенітними ракетами. На основі аналізу реалізації принципу "hit to kill" (поразка цілі прямим влученням) і концепції централізовано-мережної технології ведення бойових дій (Network-centric Warfare) у сучасних й перспективних ЗКР, робиться висновок про необхідність удосконалювання існуючої класифікації систем керування ЗКР. Запропоновано модифіковану модель взаємодії систем ЗКР при обстрілі цілі.

**Ключові слова:** напівактивне самонаведення, радіокорекція, РГС ЗКР, квазіінерціальне керування, централізовано-мережна технологія ведення бойових дій.

### QUESTIONS OF PROBLEMS OF STUDY OF PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE SURFACE-TO-AIR MISSILE AND FIRING OF SAM

A.B. Skorik, S.V. Ol'hovikov, A.S. Kirilyuk

In the article questions of an admissibility used in the classical theory of shooting surface-to-air missile (SAM) of models of process of prompting SAM and functioning of a guidance system by undermining warhead are considered examined at the analysis of probability of defeat of the purpose by modern and perspective anti-aircraft missiles. On the basis of the analysis of realization of a principle "hit to kill" (defeat of the purpose by direct hit) and concepts of on-line – network technology of conducting operations (Network-centric Warfare) in modern and perspective surface-to-air missile, is judged necessity of perfection of existing classification of control systems surface-to-air missile. The modified model of interaction of systems SAM is offered at defeat of the target.

**Keywords:** semi-active homing, radiocorrection, SARH SAM, inertial steering, mobile firing station, Network-centric Warfare.