

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БОЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА С УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

В.В. Воронин, А.Б. Скорик
(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

Предложена математическая модель для оценки эффективности боевого использования многоканального зенитного ракетного комплекса с усовершенствованной функциональной структурой в различных условиях боя, в том числе и при самостоятельном ведении боя подразделением ЗРВ.

математическая модель, многоканальный зенитный ракетный комплекс, функциональная структура

Постановка проблемы. Повышение эффективности ведения противоздушного боя в современных условиях может быть достигнуто гибким использованием вариантов централизованного и децентрализованного управления. Особую актуальность децентрализация управления приобретает в условиях самостоятельного ведения боя (СВБ) подразделениями, имеющими на вооружении многоканальные ЗРК. Новая логика боевого функционирования ЗРС потребовала внесения изменений в функциональную структуру ЗРК [1].

Исходя из этого, возникает задача оценки эффективности боевого функционирования такого ЗРК в условиях СВБ.

Анализ литературы. Для оценки эффективности боевого функционирования ЗРК, как целостной системы, наиболее часто используется аппарат теории массового обслуживания [2 – 7]. Вместе с тем, анализ имеющихся в этом направлении работ [2, 4, 5] показывает, что существующие модели не в полной мере отражают особенности боевого функционирования многоканального ЗРК в условиях самостоятельного ведения боя.

В работе [3] была рассмотрена математическая модель, учитывающая особенности ведения многоканальным ЗРК самостоятельных боевых действий. Введение в состав ЗРК командного модуля управления огнем (КМУО) внесло существенное изменение логики функционирования командного пункта МК ЗРК, что ограничивает использование существующих математических моделей.

Цель статьи. Разработать математическую модель функционирования многоканального ЗРК с командным модулем управления огнем в условиях СВБ.

В моделируемой ситуации на командный модуль управления огнем ЗРК поступает информация от нескольких источников:

- автономных средств разведки и целеуказания зрдн;
- вышестоящего КП;
- взаимодействующих подразделений РТВ и командных модулей соседних ЗРК;
- РЛС наведения ЗРК о сопровождаемых (обстреливаемых) целях.

Входной поток заявок для командного модуля будет представлять собой совокупность СВН (боевой порядок, включающий: самолеты (ударная группа, включающая самолеты, выделенные для поражения позиций подразделений ЗРВ, самолеты обеспечения (разведки, управления и радиоэлектронной борьбы), а также наряд крылатых ракет)). Причем крылатые ракеты будут представлять собой первичный поток, после воздействия которого возможны действия групп (потоков) авиации. То есть входной поток заявок для командного модуля будет представлять собой простейший поток с плотностью $\lambda_{в}$.

Данный поток состоит из просуммированных нескольких ординарных стационарных потоков [2 – 6, 7].

$$\lambda_{в} = \sum_{i=1}^k \lambda_i, \quad (1)$$

где λ_i – плотность i -го потока заявок, определяемая из выражения

$$\lambda_i = r/t_{в,i}, \quad (2)$$

где $t_{в,i}$ – время обмена информацией с i -м источником; r – количество целей выдаваемых i -м источником за время обмена.

В результате обработки информации в командном модуле формируется поток заявок целеуказаний для ЗРК с плотностью $\lambda_{цв}$ [1].

Данный поток формируется из заявок, которые вошли в зону отбора или могут входить в зону пуска ЗРК. Причем до входа в зону пуска все заявки ранжируются по времени подлета до рубежа выполнения задачи.

Плотность потока целеуказаний определяется из выражения

$$\lambda_{цв} = \frac{r}{T_{цсп}}, \quad (3)$$

$T_{цсп}$ – средний цикл стрельбы ЗРК, определяемый выражениями из [3 – 6].

Другими словами на ЗРК поступает поток заявок с плотностью

$$\lambda_{\text{цУ}} = P_{\text{цУ}} \cdot \lambda_{\text{в}}. \quad (4)$$

Если заявки не входят в зону пуска ЗРК, то они подлежат дальнейшей обработке и уходят из блока окончательного формирования потока целеуказаний с плотностью

$$\lambda_{\text{отк.}} = (1 - P_{\text{цУ}}) \times \lambda_{\text{в}}. \quad (5)$$

Для создания математической модели боевого функционирования многоканального ЗРК выделим особенности ведения боевой работы расчетом с использованием командиром зрдн командного модуля управления огнем.

Зададимся условием, что на стартовой позиции зрдн всегда имеется необходимый для ведения боя запас ЗУР. Боевое функционирование ЗРК можно представить следующими этапами:

- этап принятия командиром решения на обстрел (уничтожение) цели (отбор цели для уничтожения и закрепления ее за свободным целевым каналом РЛС наведения ЗРК);
- этап обнаружения, захвата цели на сопровождение РЛС наведения ЗРК;
- этап обстрела цели и оценки результатов стрельбы.

Этап принятия командиром решения на обстрел (уничтожение) цели начинается с момента сформирования командным модулем ранжированного потока целей и заканчивается закреплением цели командиром (автоматическим или ручным способом) за свободным целевым каналом РЛС наведения ЗРК.

Остальные этапы функционирования аналогичны этапам представленным в [3], за исключением того, что изменилась их последовательность.

Обоснование коэффициентов математической модели. Исходя из трактовки этапов боевого функционирования, моделирование ЗРК можно осуществить, представив его аналогично [3].

В первой фазе такой СМО имеется k приборов, моделирующих процесс формирования ранжированного потока целеуказаний (отобранных целей командиром для уничтожения, по которым произведена предварительная оценка исходных данных для стрельбы, определен порядок их уничтожения с учетом тактической важности и времени подлета до рубежа выполнения задачи) и закрепления отобранных целей за ЗРК (решение на обстрел цели).

Необходимость рассмотрения командного модуля в виде нескольких параллельно обслуживающих заявки приборов обусловлена тем, что процесс обслуживания заявок не зависит от их количества, а зависит лишь от порядка решения задач управляющими алгоритмами и представляет собой систему параллельной обработки информации (рис. 1).

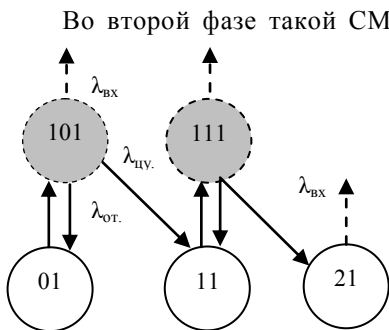


Рис. 1. Взаимодействие КМУО с системой

Во второй фазе такой СМО имеется один прибор, моделирующий процесс обработки ЦУ, захвата целей на сопровождение и подтверждения решения командиром зрдн на обстрел сопровождаемой РЛС наведения ЗРК цели с функцией распределения продолжительности обслуживания соответствующей выражению

$$f_2(t) = 1 - e^{-\mu_2 t}. \quad (6)$$

В третьей фазе СМО имеется j приборов моделирующих процесс обстрела цели и оценки результатов

стрельбы с функцией распределения продолжительности обслуживания соответствующей [3].

Интенсивность обслуживания приборами первой фазы определяется временем управления $t_{упр.}$, которое можно определить из выражения

$$t_{упр.} = t_{реш.} + t_{закр.}, \quad (7)$$

где $t_{реш.}$ – время необходимое на принятие решения по отбору цели для уничтожения по данным аппаратуры командного модуля управления огнем; $t_{закр.}$ – время затрачиваемое командиром на закрепление целеуказания за РЛС ЗРК (при ручном вводе ЦУ).

Следовательно, с учетом выражения (7) интенсивность обслуживания заявок в первой фазе определяется

$$\mu_1 = \frac{1}{t_{упр.}}. \quad (8)$$

Интенсивность обслуживания заявок прибором второй фазы определяется работным временем зрдн

$$t_{зрдн} = t_{сцн} + t_{сх} + t_{пр}, \quad (9)$$

где все составляющие определены в [4, 5], за исключением $t_{пр}$ – время на подтверждение командиром своего решения на обстрел цели.

С учетом выражения (9) интенсивность обслуживания прибором второй фазы определяется

$$\mu_n = \frac{1}{t_{зрдн}}. \quad (10)$$

Блокировка работы приборов первой фазы на момент занятости обслуживанием заявки прибором второй фазы в данном случае отсутству-

ет. Так как они продолжают обрабатывать поступающую на них информацию, а также в первой фазе осуществляется учет времени обслуживания заявок во второй и третьей фазе, и поэтому ЦУ не будет выдаваться, пока не появится информация о наличии свободных целевых каналов.

Время обслуживания заявки прибором в третьей фазе определяется временем полета ракеты к точке встречи с целью и временем оценки результатов стрельбы. При этом интенсивность обслуживания приборами третьей фазы может быть задана аналогично [3].

Следовательно, при всех занятых приборах в третьей фазе обслуживания происходит блокировка прибора второй фазы заключающаяся в том, что пока не освободится один из приборов третьей фазы, не будет осуществляться выдача заявок на обслуживание из прибора второй фазы в третью, а также из первой фазы во вторую.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при управлении огнем в ЗРК с КМУО проявляется обратная связь, заключающаяся в том, что временные показатели боевой эффективности ЗРК оказывают влияние на интенсивность выдачи целеуказаний командным модулем. В тоже время интенсивность выдачи целеуказаний КМУО не зависит от входного потока информации, а зависит от интенсивности обслуживания целеуказаний ЗРК.

Состояние ЗРК в произвольный момент времени обозначим индексами (s, i, j) , где s – состояние работы командного модуля, i – число целей связанных со второй фазой обслуживания, j – число целей, находящихся на обслуживании в третьей фазе.

Определенная таким образом система имеет счетное число состояний. Размеченный граф переходов этой системы изображен на рис. 2.

Из графа видно, что ЗРК, находясь в состоянии $(0,0)$ не осуществляет работу, связанную с обслуживанием целей. В данном состоянии контроль функционирования ЗРК проведен и он готов к боевому функционированию.

В состояниях (s, i, j) при $s = 0$ на первой фазе сформирован поток целеуказаний, при этом все цели не входящие в зону боевого использования ЗРК уходят с обработки в виде потока с плотностью $\lambda_{отк.}$, и осуществляется закрепление целей за целевыми каналами ЗРК с интенсивностью μ_1 . При $s = 1$, помимо выдачи последующего ЦУ, на первой фазе производится обработка входной информации под воздействием входного потока с плотностью $\lambda_{вх.}$, поступающей от обеспечивающих источников, и формирование ранжированного потока ЦУ. В состоянии $(1, 0)$ цель с вероятностью a_1 поступает на обслуживание в 3^ю фазу и с вероятностью $a_2 = 1 - a_1$ покидает систему. В состояниях (i, j) при $i \leq n$ и $j < m$ производится захват целей с интенсивностью μ_{ij} и обязательный обстрел целей j каналами. В состояниях $i = 1 \dots n, j = m$ вторая фаза заблокиро-

вана и цели, поступающие в зону обслуживания ЗРК, не могут быть взяты немедленно на обслуживание.

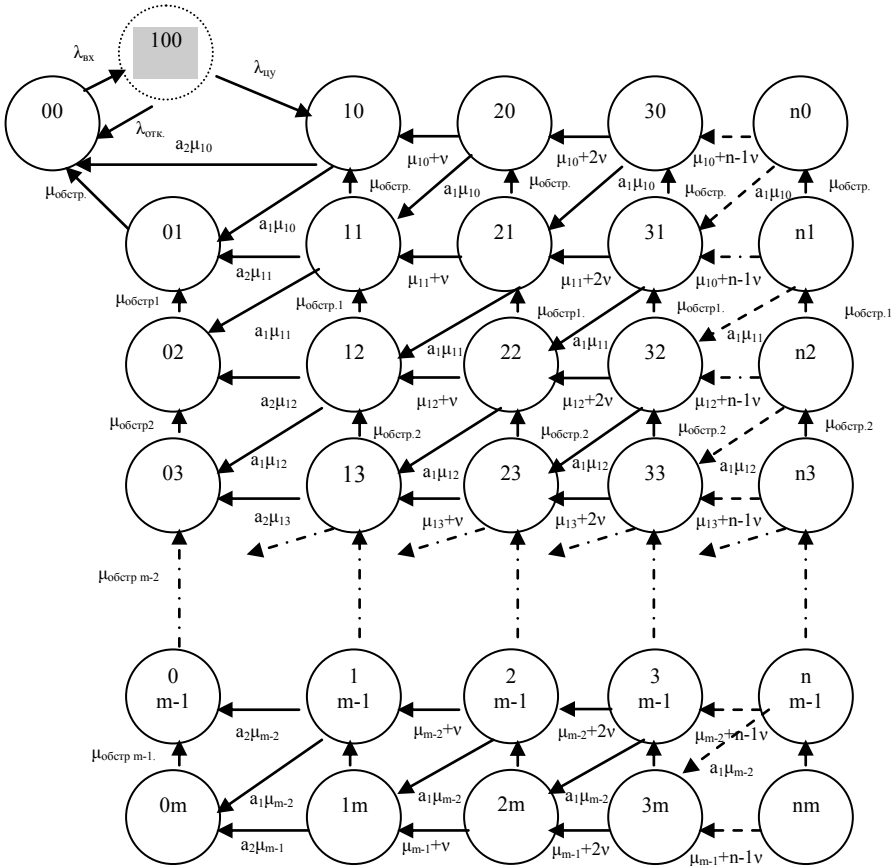


Рис. 2. Граф переходов системы при боевом функционировании многоканального ЗРК с КМУО

Переход ЗРК из одного состояния в другое определим вероятностями, для этого запишем систему уравнений, описывающую граф в компактной матричной форме аналогично [3]

$$A_i \times P_j = 0, \quad (11)$$

где A_i – матрица, состоящая из элементов матриц строк

$$A_i = (A_1, A_2, \dots, A_m);$$

P_j – матрица состояний системы, имеющая вид

$$P_j = (P_1, P_2, \dots, P_n)^T.$$

Введя условие нормировки и задавшись исходными данными, получаем стационарное распределение вероятностей пребывания системы в своих состояниях

$$P_j = F \times A_i^{-1}. \quad (12)$$

Получив стационарное распределение вероятностей пребывания системы в своих состояниях можно произвести оценку эффективности боевого использования ЗРК в различных условиях боя, в том числе и при ведении СВБ.

Вывод. Таким образом, в статье представлена математическая модель боевого функционирования многоканального ЗРК с усовершенствованной функциональной структурой. В отличие от известных моделей она учитывает условия применения многоканального ЗРК в различных условиях боя, в том числе и при ведении самостоятельного боя зрдн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин В.В., Залевский Г.С., Скорик А.Б., Зубрицкий Г.Н. Метод решения задачи отбора целей для уничтожения многоканальным зенитным ракетным комплексом в условиях воздушного налета высокой интенсивности // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 3(43). – С. 37-43.
2. Ковтуненко А.П., Козлов А.Ф., Коростелев О.П., Шершнев Н.А. Основы построения и оценки потенциальной эффективности систем зенитного управляемого ракетного оружия. Монография. – К.: Фитосоциоцентр, 2003. – 296 с.
3. Торопчин А.Я., Скорик А.Б., Воронин В.В., Флоров А.Д. Математическая модель функционирования многоканального зенитного ракетного комплекса в условиях самостоятельного ведения боя // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 12 (40). – С. 230-238.
4. Єрмошин М.О., Дробаха Г.А. Оцінка ефективності бойових дій зенітних ракетних військ. – Х.: ХВУ, 2004. – 258 с.
5. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х.: ХВУ, 2003. – 368 с.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983. – 415 с.
7. Гринберг С.И., Иванова И.Л., Сливняк И.М., Сухаревский И.В. Военно-технические вопросы высшей математики и математические основы военной кибернетики. – Х.: ВИРТА, 1982. – 382 с.

Поступила 21.02.2006

Рецензент: доктор военных наук, профессор Г.А. Дробаха,

