

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЕДЕНИЯ БОЯ

А.Я. Торопчин, к.т.н. А.Б. Скорик, В.В. Воронин, к.т.н. А.Д. Флоров
(представил д.в.н., проф. И.О. Кириченко)

Предложена математическая модель для оценки эффективности боевого функционирования многоканального зенитного ракетного комплекса в условиях самостоятельного ведения боя.

Постановка проблемы. При преодолении системы ПВО средства воздушного нападения (СВН) в первую очередь стремятся подавить систему управления силами ПВО. В этих условиях самостоятельное ведение боя (СВБ) многоканальным ЗРК может рассматриваться как одна из приоритетных задач. А вопросы оценки эффективности боевого функционирования ЗРК, при СВБ, приобретают особую актуальность.

Анализ литературы. Для оценки эффективности боевого функционирования ЗРК, как целостной системы, наиболее удобно использовать аппарат теории массового обслуживания [1, 2].

Вместе с тем, анализ имеющихся в этом направлении работ [3 – 5] показывает, что существующие модели не в полной мере отражают особенности боевого функционирования многоканального ЗРК в условиях самостоятельного ведения боя.

Цель статьи. Разработать математическую модель функционирования многоканального ЗРК в условиях СВБ, с учетом особенностей боевого функционирования.

Рассмотрим моделируемую ситуацию. На стартовой позиции зрдн имеется необходимый для ведения боя запас ЗУР. Средства разведки и целеуказания в ЗРК отсутствуют (неисправны). ЗРК осуществляет уничтожение целей в пределах своего сектора ответственности. Для обнаружения воздушных целей используется многофункциональная РЛС (МФРЛС), которая осуществляет поиск, обнаружение и захват целей на сопровождение в пределах автономного сектора поиска. В налете используется достаточно большое количество СВН, действующих в составе боевых групп. Часть воздушных целей, попадающих в сектор поиска МФРЛС, не входят в зону поражения ЗРК.

Учитывая особенности построения многоканального ЗРК [6, 7], представим его боевое функционирование следующими этапами:

- поиск и обнаружение цели МФРЛС ЗРК;
- захват цели на сопровождение, и принятия решения командиром подразделения на обстрел цели;
- обстрел цели и оценка результатов стрельбы.

Работа командира по определению возможности обстрела цели начинается с момента поступления первых сведений о цели (обнаружения цели), поэтому захват цели на автосопровождение и принятие решения командиром совмещен в один этап.

Все обнаруженные и взятые на сопровождение МФРЛС цели, находящиеся в зоне пуска ЗРК подлежат обстрелу.

Третий этап начинается с момента принятия решения на обстрел сопровождаемой МФРЛС цели и заканчивается оценкой результатов стрельбы по цели.

При сделанных допущениях функционирование многоканального ЗРК можно представить в виде трехфазной системы массового обслуживания.

В качестве заявок, поступающих на вход СМО, рассматриваются цели, входящие в сектор поиска МФРЛС. Каждая боевая группа может рассматриваться как ординарный стационарный поток [1 – 4].

Известно [1, 2], что при суммировании большого числа ординарных стационарных потоков с практически любым последствием получается поток сколь угодно близкий к простейшему.

На вход СМО поступает простейший поток заявок (целей) с плотностью

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

В первой фазе СМО имеется один прибор, моделирующий процесс поиска целей МФРЛС с функцией распределения продолжительности обслуживания равной

$$f_1(t) = 1 - e^{-\mu_1 t}. \quad (2)$$

Перед первой фазой допускается очередь со случайным временем ожидания, распределенным по закону

$$f(t) = 1 - e^{-\nu t}. \quad (3)$$

Заявка может покинуть систему при превышении времени ожидания, что соответствует выходу цели из зоны пуска. Отсутствие информации о входящих в зону поиска МФРЛС целях приводит к тому, что заявка может покинуть систему, как находясь в очереди, так и на обслу-

живании. Количество заявок в очереди определяется максимальным количеством целей, действующих в секторе поиска МФРЛС. Обслуженная заявка (цель обнаружена) с вероятностью a_2 поступает из первой фазы на обслуживание во вторую фазу, и с вероятностью $a_1 = 1 - a_2$ (пропуск цели) покидает систему.

Во второй фазе СМО также имеется один прибор, моделирующий процесс захвата цели на сопровождение и принятия решения на обстрел (отказ от обстрела) цели с функцией распределения продолжительности обслуживания равной

$$f_2(t) = 1 - e^{-\mu_{\text{оц}i} t}. \quad (4)$$

На время работы прибора второй фазы осуществляется блокировка прибора первой фазы. По окончании операций во второй фазе, с вероятностью b_2 принимается решение на обстрел цели, и заявка передается на обслуживание в третью фазу, либо с вероятностью $b_1 = 1 - b_2$ заявка покидает систему (производится ее сброс с сопровождения МФРЛС), и происходит разблокировка прибора первой фазы.

В третьей фазе СМО имеется m приборов, моделирующих стрельбовые каналы ЗРК, с функцией распределения продолжительности обслуживания равной

$$f_3(t) = 1 - e^{-\mu_{\text{об}i} t}. \quad (5)$$

Величины μ_1 , $\mu_{\text{оц}i}$, $\mu_{\text{об}i}$ в выражениях (2), (4), (5) – интенсивности обслуживания заявок приборами 1-й, 2-й и 3-й фаз соответственно.

Невозможность ведения поиска МФРЛС при занятости всех стрельбовых каналов в модели учитывается блокировкой прибора первой фазы при занятости всех приборов третьей фазы.

Состояние ЗРК в произвольный момент времени обозначим тройкой индексов (s, i, j) , где s – число целей связанных с первой фазой обслуживания, 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. 1.

Из графа видно, что ЗРК, находясь в состоянии $(0, 0, 0)$ не осуществляет работу, связанную с обнаружением, сопровождением и обстрелом целей. В состояниях (s, i, j) , при $i = 0$ на второй фазе нет целей на обслуживании, при $i = 1$ во второй фазе обслуживается очередная обнаруженная цель с интенсивностью $\mu_{\text{оц}i}$, при $s \leq n$ производится обзор автономного сектора поиска, при $j < m$ производится обстрел целей с интенсивностью $\mu_{\text{об}j}$ стрельбовыми каналами.

В состояниях $s = 1, \dots, n, j = m$ прибор первой фазы заблокирован и

разблокирование произойдет лишь в том случае, если освободится один из каналов третьей фазы.

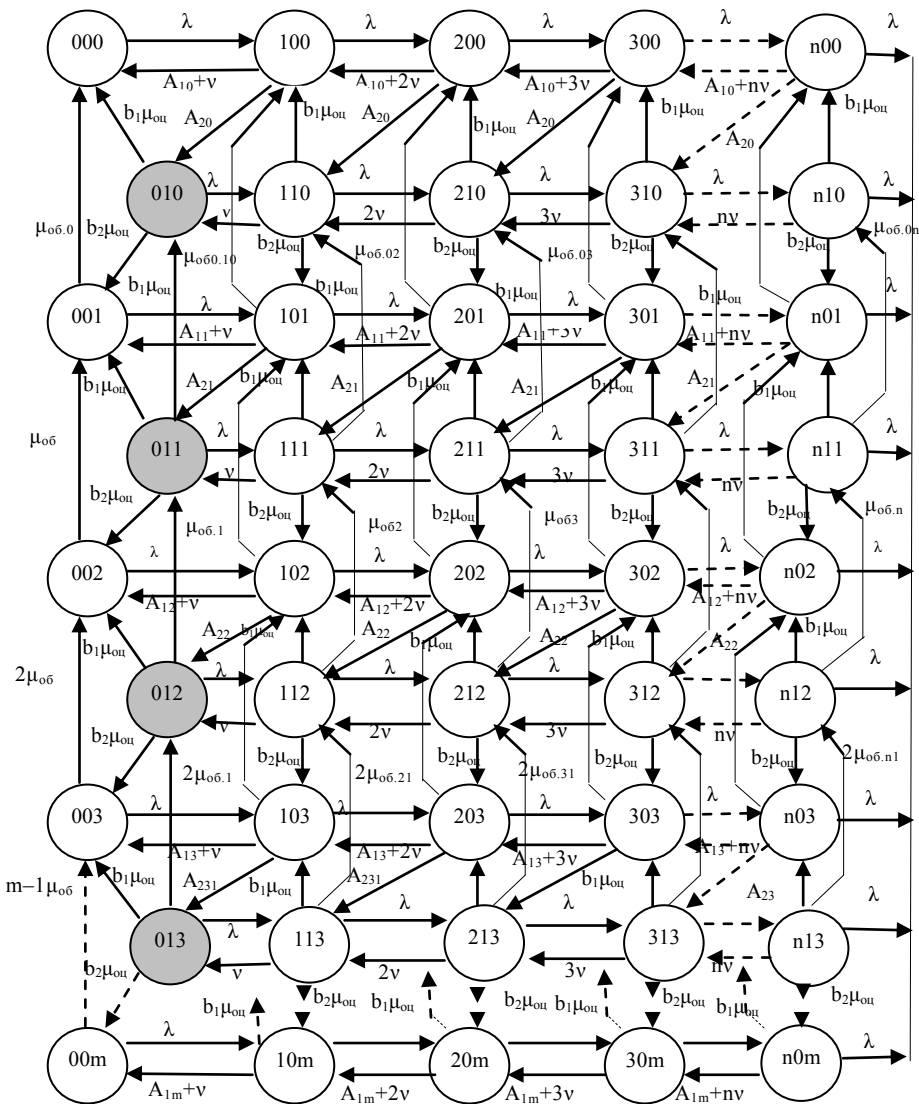


Рис. 1. Граф переходов системы

Систему уравнений, описывающую граф в стационарном состоянии, запишем в матричной форме [3 – 5]

$$A_i \times P_j = 0, \quad (6)$$

где A_i – матрица, состоящая из элементов матриц строк

$$A_i = (A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{im});$$

P_j – матрица состояний системы, имеющая вид

$$P_j = (P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jn})^T.$$

Введем условие нормировки

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P(i, j) = 1. \quad (7)$$

С учетом нормировки выражение (7) примет вид

$$A_i \times P_j = R, \quad (8)$$

следовательно, стационарное распределение вероятностей пребывания системы в своих состояниях определяется

$$P_j = R \times A_i^{-1}. \quad (9)$$

Огневую производительность ЗРК определим в соответствии с [3 – 5]

$$B = \mu_{\text{обстр.}} \cdot m_3, \quad (10)$$

где m_3 – среднее число занятых каналов третьей фазы.

При этом m_3 можно определить из соотношения

$$m_3 = \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^m j \cdot P(c, i, j), \quad (11)$$

где j – число целей обслуживаемых в третьей фазе;

$P(c, i, j)$ – стационарное распределение вероятностей нахождения системы в состоянии обстрела.

Оценка огневой производительности ЗРК осуществлялась для различных плотностей налета целей. На рис. 2 показана зависимость огневой производительности ЗРК от плотности налета целей для различных интенсивностей обслуживания целей прибором первой фазы $\mu_1 = 2,7$, $\mu_2 = 2,3$, $\mu_3 = 2$, $\mu_4 = 1,67$, $\mu_5 = 1,33$, $\mu_6 = 1$ при интенсивности ухода целей из очереди $\nu = 0,2$.

Из рис. 2 видно, что с увеличением плотности налета λ и интенсивности обслуживания целей прибором первой фазы, огневая производительность многоканального ЗРК увеличивается. Однако с увеличением μ_1 дальнейшее увеличение λ не приводит к значительному повышению огневой производительности, так как начинает проявляться свойство блокировки (занятость каналов обслуживания). Оценка огневой производительности многоканального ЗРК в зависимости от интенсивности принятия решения на обстрел цели.

Значение $\mu_{\text{оц}}$ показало, что с увеличением времени на принятие решения огневая производительность – В уменьшается (рис. 3).

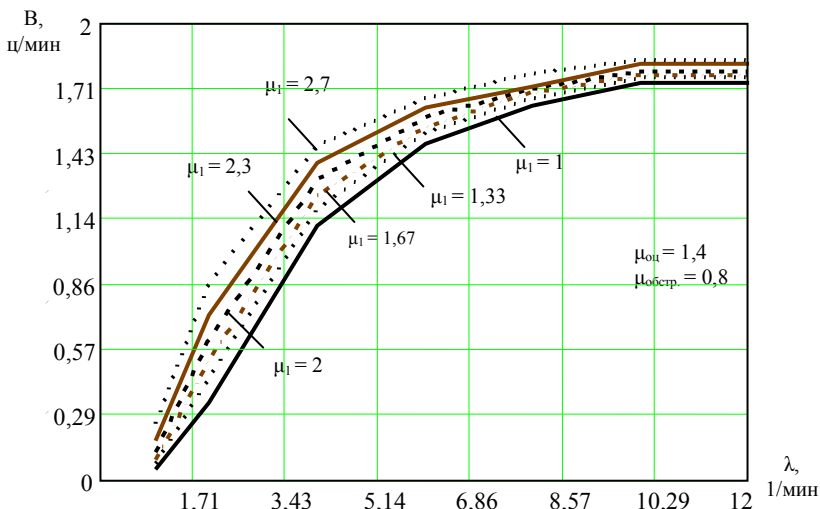


Рис. 2. Зависимость огневой производительности многоканального ЗРК от плотности налета и интенсивности работы прибора первой фазы

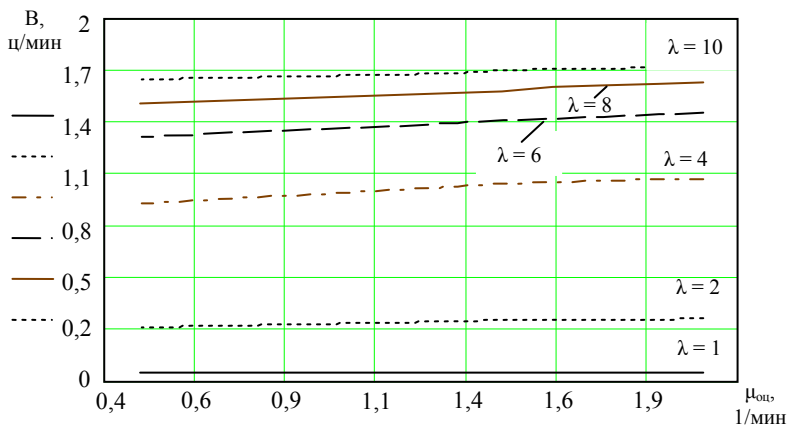


Рис. 3. Зависимость огневой производительности многоканального ЗРК от плотности налета и интенсивности работы прибора второй фазы

Это особенно сказывается при увеличении плотности потока целей до $\lambda = 4$ и больше. Причем уменьшение огневой производительности

ЗРК достигает до 5%. Расчеты производились для различных плотностей налета целей при $\mu_{\text{оц1}} = 2,1$, $\mu_{\text{оц2}} = 1,97$, $\mu_{\text{оц3}} = 1,81$, $\mu_{\text{оц4}} = 1,67$, $\mu_{\text{оц5}} = 1,53$, $\mu_{\text{оц6}} = 1,4$, $\mu_{\text{оц7}} = 0,6$.

При низких плотностях налета $\lambda = 1 \dots 2$ огневая производительность ЗРК практически не изменяется, это объясняется тем, что при таких условиях основное влияние оказывают временные затраты на обслуживание целей в фазе поиска и обнаружения.

Оценка огневой производительности ЗРК в зависимости от интенсивности обстрела показывает, что с увеличением интенсивности пропускная способность ЗРК увеличивается (рис. 4).

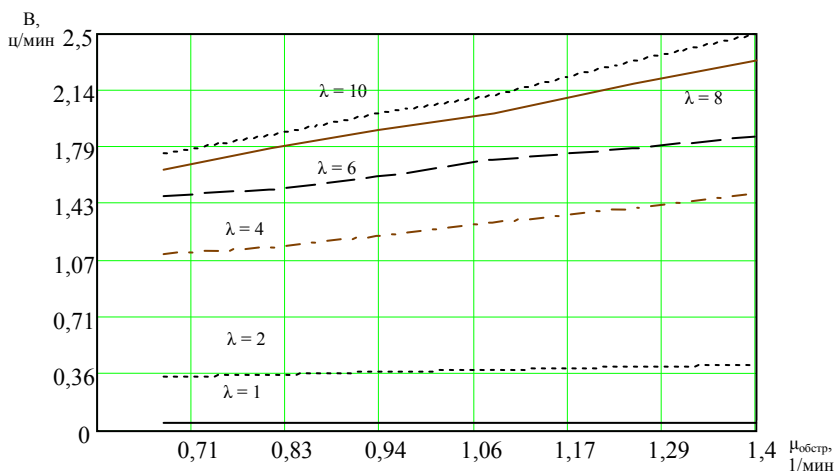


Рис. 4. Зависимость огневой производительности многоканального ЗРК от плотности налета и интенсивности работы прибора третьей фазы

Это объясняется возможностью обстрела целей за счет использования глубины зоны поражения.

Вывод. Предложена математическая модель боевого функционирования многоканального ЗРК при самостоятельном ведении боя, представляющая собой дальнейшее усовершенствование известных в [3 – 5] моделей. Выделение, как отдельного состояния, фазы принятия решения позволило учесть особенности боевой работы в многоканальном ЗРК при отсутствии управления с вышестоящего командного пункта, а также осуществлять оценку возможности обстрела целей с учетом глубины зоны поражения. Полученные оценки огневой производительности ЗРК не противоречат известным научным результатам. Они показывают,

что для увеличения огневой производительности многоканального ЗРК в первую очередь необходимо уменьшать время принятия решения на обстрел цели, а также время на поиск (обнаружение) целей, а это возможно за счет автоматизации управления огнем в ЗРК и улучшения информационного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей.* – М.: Радио и связь, 1983. – 415 с.
2. *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.
3. *Ковтуненко А.П., Шершнев Н.А. Основы теории построения и моделирования функционирования сложных систем вооружения. Системы зенитного управляемого ракетного оружия.* – Х.: ВИРТА ПВО, 1992. – 233 с.
4. *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.
5. *Ланецкий Б.Н. Комплексное обоснование требований к системе технического обслуживания и ремонта РЭС зенитного ракетного вооружения группировок войск ПВО. / Приложение к диссертации на соискание ученой степени д.т.н. – Х.:ХВУ, 1994. – 165 с.*
6. *Бурцев В.В., Кузь М.Я. Основы побудови багатоканальних зенітних ракетних систем середньої дальності.* – Х.: ХВУ, 2002. – 86 с.
7. *Шишов Ю.А., Ворошилов В.А. Многоканальная радиолокация с временным разделением каналов.* – М.: Радио и связь, 1987. – 144 с.

Поступила 22.11.2004

ТОРОПЧИН Анатолий Яковлевич, главком Воздушных Сил. В 1986 году закончил командную академию ПВО им. Г.К. Жукова. Область научных интересов – системный анализ и оценка эффективности зенитного ракетного вооружения.

СКОРИК Анатолий Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры Харьковского университета Воздушных Сил. Область научных интересов – системный анализ и оценка эффективности зенитного ракетного вооружения.

ВОРОНИН Виктор Валериевич, старший преподаватель кафедры Харьковского университета Воздушных Сил. В 1996 году окончил командно-штабной факультет ХВУ. Область научных интересов – системный анализ и оценка эффективности зенитного ракетного вооружения.

ФЛОРОВ Александр Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры боевого применения вооружения зенитных ракетных войск Харьковского университета Воздушных Сил. В 1992 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – системный анализ и оценка эффективности зенитного ракетного вооружения.