

УДК 623.764

О.В. Воронин¹, С.В. Потетенко¹, С.В. Кругликов²

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЕМ ТАКТИЧЕСКОЙ ПРОТИВОРАКЕТНОЙ ОБОРОНЫ ОБЪЕКТОВ

Предлагаются основные направления автоматизации процессов планирования и управления боевыми действиями формирования тактической противоракетной обороны. Рассматриваются вопросы автоматизированного выбора рационального варианта боевого порядка и управления огнем тактико-огневыми подразделениями формирования тактической противоракетной обороны в ходе боевых действий.

Введение

Массовое применение в современных высокотехнологичных войнах и вооруженных конфликтах (Ирак, 1991 и 2003 гг.; Афганистан, 2001 г.) оперативно-тактических и тактических баллистических ракет (ОТ и ТБР) предопределяет необходимость организации защиты наиболее крупных административно-промышленных центров (АПЦ) от ракетных ударов [1]. Мировой опыт и практика организации и осуществления такой защиты показывают, что она, как правило, осуществляется в системе тактической противоракетной обороны (ПРО). Основу тактической ПРО составляют зенитные ракетные формирования (зенитные ракетные воинские части, подразделения). Вновь организованное (сформированное) или существующее формирование, выполняющее задачу по защите объекта (объектов) от ракетных ударов, принято считать формированием тактической ПРО [2, 3].

Анализ теории и практики организации и осуществления защиты объектов и войск от ударов воздушного противника показывает следующее [3–6]:

– сложившаяся в настоящее время система противовоздушной обороны (ПВО) направлена главным образом на защиту объектов и войск от ударов аэродинамических целей (пилотируемой авиации, крылатых ракет (КР) и др.);

– для защиты крупных АПЦ построение боевых порядков тактических формирований осуществляют зенитные ракетные соединения (воинские части) вкруговую (в зависимости от количества располагаемых сил и средств) относительно центра или границ обороняемого объекта с максимально возможным выносом зон поражения зенитных ракетных дивизионов за рубеж выполнения задачи воздушным противником. Описанный подход, научно обоснованный профессором Ф.К. Неупокоевым [4], до сих пор доминирует в тактике зенитных ракетных войск (ЗРВ).

Серьезное отличие скоростей и траекторий полета ОТ и ТБР и аэродинамических летательных аппаратов вызвало необходимость пересмотра подхода к определению местоположения боевых позиций основных элементов боевого порядка зенитного ракетного формирования: тактико-огневых подразделений (ТОП) и радиолокационной станции (РЛС) командного пункта (КП), а также управлению огнем ТОП. Детальное рассмотрение существующих подходов применительно к решению задач тактической ПРО крупного АПЦ показало, что зенитное ракетное формирование в боевом порядке, построенном на их основе, и алгоритмы боевого управления огнем ТОП не позволяют в полной мере реализовать располагаемые боевые возможности [7–12]. Отдельные публикации по устранению данного недостатка носят фрагментарный характер.

Целями совершенствования комплексов средств автоматизации управления (КСА) в части придания им функциональных возможностей осуществления тактической ПРО объектов являются:

– обеспечение функциональных возможностей планирования ведения боевых действий (БД) формированием в условиях применения противником БЦ в КСА и необходимости учета

разноплановых требований, предъявляемых к позициям РЛС, огневых подразделений и другим элементам боевого порядка, факторов и условий обстановки;

– совершенствование автоматизированного управления огнем ТОП формирования тактической ПРО в условиях применения смешанной группировки ЗРВ с использованием информации от средств разведки воздушной обстановки различных типов и обратной информации от управляемых средств.

В принятых на снабжение за последние 15 лет КСА, которые способны управлять зенитным ракетным комплексом (ЗРК), алгоритмы решения задач тактической ПРО не разработаны и не внедрены.

1. Технология автоматизированного выбора рационального варианта боевого порядка формирования тактической ПРО

Необходимость оперативного принятия командиром соединения (воинской части) ЗРВ обоснованного решения на ведение БД в условиях применения противником ОТ и ТБР требует разработки и внедрения технологии автоматизированного выбора варианта боевого порядка формирования тактической ПРО.

Под технологией выбора понимается организованное взаимодействие лиц боевого расчета пункта управления с совокупностью реализованных в аппаратуре КСА алгоритмов и программ, обеспечивающее выбор наиболее целесообразного боевого порядка формирования тактической ПРО в различных условиях обстановки.

Суть предлагаемого подхода к выбору варианта боевого порядка формирования тактической ПРО (рис. 1) заключается в первоначальном построении множества вариантов боевого порядка формирования с учетом осведомленности о местоположении стартовых пусковых установок ОТ и ТБР противника, ожидаемого типа и количества указанных ракет в ракетных ударах, параметров объекта обороны, тактико-технических характеристик (ТТХ) и количества располагаемых средств, в последующем определении наиболее целесообразного местонахождения боевых позиций основных элементов боевого порядка формирования ТОП (дивизиона, батареи) и РЛС КП по критерию максимума эффективности ведения БД [7–9].



Рис. 1. Схема выбора рационального варианта построения боевого порядка формирования тактической ПРО

Подготовка исходных данных заключается в сборе информации о следующих характеристиках [9]:

- ТТХ ОТ и ТБР эвентуального противника и зенитной ракетной системы (ЗРС), состоящей на вооружении формирования;
- предельных значениях параметров боевого порядка формирования с учетом выполнения требований по взаимному размещению ЗРК ТОП, пунктов боевого управления (ПБУ) и РЛС КП, требуемой степени прикрытия объекта обороны и эффективности ведения боевых действий формированием тактической ПРО крупного АПЦ;
- значениях коэффициентов, характеризующих влияние состояния боевой готовности ТОП, эффективность системы управления, маневра цели, помеховой и метеорологической обстановки на реализацию боевых возможностей формирования;
- физико-географических условиях (ФГУ) местности, при которых предстоит вести БД формированию тактической ПРО, с учетом их уточнения исходя из складывающейся обстановки.

Формализованное представление исходной тактической обстановки заключается в установлении в единой системе показателей и координат основных исходных данных и определении основных показателей [9, 10]:

- ракетного удара противника;
- приведенного объекта обороны;
- потенциальных боевых возможностей формирования.

В зависимости от осведомленности о местоположении стартовой пусковой установки (СПУ) ОТ и ТБР основными вариантами ракетного удара противника принимаются удары [10]:

- при известном их направлении (с одной позиции СПУ ОТ и ТБР, местоположение которой известно);
- нескольких направлений (с позиций СПУ ОТ и ТБР, местоположение которых известно);
- неизвестных направлений (с позиций, местоположение которых неизвестно).

Объект обороны представляется в виде геометрической фигуры, в которую вписана огибающая точек прицеливания. Такой объект считают приведенным. На практике в качестве приведенного объекта обороны наиболее часто используют геометрическую фигуру в форме круга [4].

Минимальное удаление СПУ ОТ и ТБР от границы приведенного объекта обороны принимается равным реализуемой дальности полета ОТ и ТБР при полете по минимально настильной (пологой) или максимально навесной (крутой) траектории или определяется исходя из минимально возможного размещения СПУ от точки прицеливания ракеты с учетом безопасного (нормативного) удаления от линии боевого соприкосновения (ЛБС), исключающего нанесение противостоящей стороной огневого поражения СПУ [10]:

$$d_{\text{СПУ min}} = \begin{cases} d_{\text{min}} & \text{при } (d_{\text{СПУ-ЛБС}} + d_{\text{ЛБС-ОО}}) \leq d_{\text{min}}, \\ d_{\text{СПУ-ЛБС}} + d_{\text{ЛБС-ОО}} & \text{при } (d_{\text{СПУ-ЛБС}} + d_{\text{ЛБС-ОО}}) > d_{\text{min}}, \end{cases}$$

- где d_{min} – минимальная дальность полета ОТ и ТБР;
 $d_{\text{СПУ-ЛБС}}$ – нормативное удаление СПУ ОТ и ТБР от ЛБС;
 $d_{\text{ЛБС-ОО}}$ – удаление обороняемого объекта от ЛБС.

Пространственно-временные характеристики полета ОТ и ТБР определяют по существующим методикам, изложенным в [11, 12]. При этом углы падения устанавливают предельные, т. е. θ_{min} и θ_{max} .

Оценка противника при ведении БД формированием тактической ПРО изображена на рис. 2.

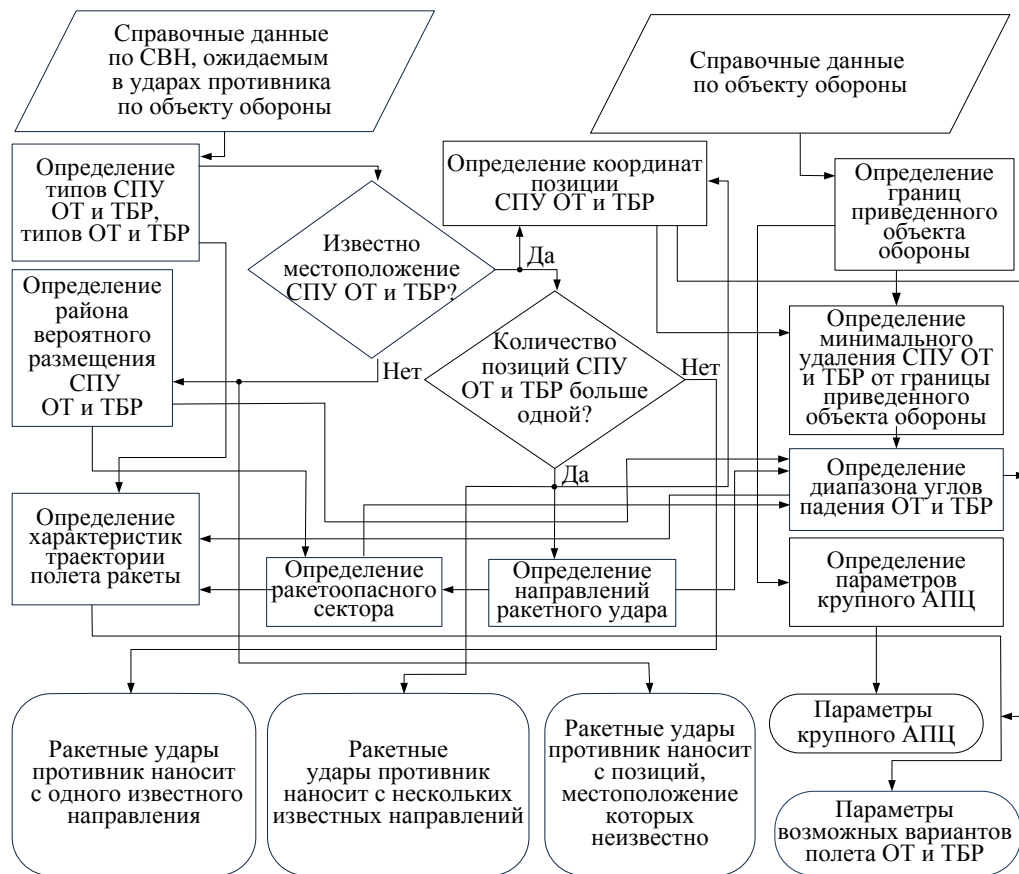


Рис. 2. Схема процесса установления вариантов ракетного удара противника, параметров траекторий полета ракет, параметров объекта обороны

Обобщенным показателем потенциальных боевых возможностей формирования тактической ПРО является потенциальная эффективность БД ($K_{эф. \text{ потенц.}}$), которую определяют с учетом огневых возможностей и средней эффективности стрельбы ЗРК по БЦ согласно выражению [4]

$$K_{эф. \text{ потенц.}} = 1 - e^{-P_1 K_p}$$

где P_1 – средняя эффективность стрельбы ЗРК по БЦ;

K_p – коэффициент реализации огневых возможностей формированием, рассчитываемый как [4]

$$K_p = K_{стр} K_{БГ} K_{упр} K_m K_{п} K_{метео}$$

Здесь $K_{стр}$, $K_{БГ}$, $K_{упр}$, K_m , $K_{п}$ и $K_{метео}$ – коэффициенты, учитывающие реализацию формированием огневых возможностей по количеству стрельб, состояние боевой готовности ТОП, эффективность системы управления, влияние маневра цели, помеховой и метеорологической обстановки соответственно. Значения указанных коэффициентов устанавливаются на основе опыта локальных войн и конфликтов, анализа результатов учений с боевой стрельбой или рассчитывают по известным методикам [4, 5].

Коэффициент реализации формированием огневых возможностей по количеству стрельб может быть определен по минимальному значению следующих отношений [9]:

- боекомплекта зенитной управляемой ракеты (ЗУР) формирования к количеству израсходованных ЗУР с учетом количества БЦ, ожидаемого при ракетном ударе противника;
- количества располагаемых целевых каналов ЗРК формирования к числу БЦ, ожидаемых в зоне поражения ЗРК за время цикла стрельбы по БЦ.

Математически данные соотношения представлены в следующем виде:

$$K_{\text{стр}} = \min \left\{ \frac{N_{\text{ЗРК}} Q}{n N_{\text{БР}}}, \frac{N_{\text{ЗРК}} k_{\text{в.стр}}}{N_{\text{БЦ ЗП}}} \right\},$$

где $N_{\text{ЗРК}}$ – количество выделенных (назначенных) ЗРК формирования;

Q – боекомплект ЗУР ТОП;

n – количество ЗУР, назначенных на стрельбу по одной БЦ;

$N_{\text{БР}}$ и $N_{\text{БЦ ЗП}}$ – ожидаемое количество ОТ и ТБР в ракетном ударе и в зоне поражения ЗРК за время цикла стрельбы по одной БЦ ($T_{\text{ц БЦ}}$) соответственно;

$k_{\text{в.стр}}$ – число целевых каналов в ЗРК с учетом вида стрельбы по одной БЦ, определяемое в соответствии с видом стрельбы ЗРК по БЦ (одиночной, очередью или залпом ЗУР):

$$k_{\text{в.стр}} = \begin{cases} k_{\text{ЗРК}} & \text{при стрельбе одиночной ЗУР или очередью;} \\ k_{\text{ЗРК}} / n_3 & \text{при стрельбе залпом ЗУР.} \end{cases}$$

Здесь $k_{\text{ЗРК}}$ – число целевых каналов в ЗРК с учетом вида стрельбы по БЦ;

n_3 – количество целевых каналов, используемых при стрельбе залпом ЗУР по одной БЦ.

Среднюю эффективность стрельбы ЗРК по БЦ рассчитывают как [4]

$$P_{\text{ц}} = 1 - (1 - P_1)^n,$$

где P_1 – вероятность поражения БЦ одной ракетой.

Максимальное количество БЦ, ожидаемых в зоне поражения ЗРК за время цикла стрельбы по БЦ, определяют по выражению

$$N_{\text{БЦ ЗП max}} = \sum_{z=1}^{Z_{\text{СПУ}}} N_{\text{СПУ } z} n_{\text{БЦ ЗП } z},$$

где $Z_{\text{СПУ}}$ – количество типов СПУ ОТ и ТБР в ракетном подразделении противника;

$N_{\text{СПУ } z}$ – количество стартовых пусковых установок ОТ и ТБР z -го типа, принимающих участие в ракетном ударе;

$n_{\text{БЦ ЗП } z}$ – количество ОТ и ТБР, пуск которых проведен с одной СПУ z -го типа, ожидаемое в зоне поражения ЗРК в течение времени цикла стрельбы ЗРК по одной БЦ. Определяется зависимостью

$$n_{\text{БЦ ЗП } z} = \begin{cases} n_{p z} & \text{при } t_{p z} (n_{p z} - 1) \leq T_{\text{ц БЦ}}; \\ \text{ent} \left(\frac{T_{\text{ц БЦ}}}{t_{p z}} \right) & \text{при } t_{p z} (n_{p z} - 1) > T_{\text{ц БЦ}}, \end{cases}$$

где $n_{p z}$ – количество ОТ и ТБР на одной СПУ z -го типа;

$t_{p z}$ – интервалы между пусками ОТ и ТБР с одной СПУ z -го типа.

При оценке разведывательных возможностей формирования определяют потенциальную дальность обнаружения БЦ ($d_{\text{обн. потенц.}}^0$), которую определяют потенциал радиолокатора и эффективная отражающая поверхность баллистической ракеты [5]:

$$d_{\text{обн. потенц.}}^0 = d_0 \sqrt[4]{\sigma_{\text{БЦ}} / \sigma_0},$$

где d_0 – потенциал радиолокатора (опорная дальность обнаружения цели с эффективной отражающей поверхностью $\sigma_0 = 1 \text{ м}^2$);

$\sigma_{\text{БЦ}}$ – эффективная отражающая поверхность БЦ.

Потенциальные боевые возможности зенитного ракетного соединения (воинской части) по защите крупного АПЦ от ударов противника ОТ и ТБР рекомендуется определять в соответствии со схемой, представленной на рис. 3.

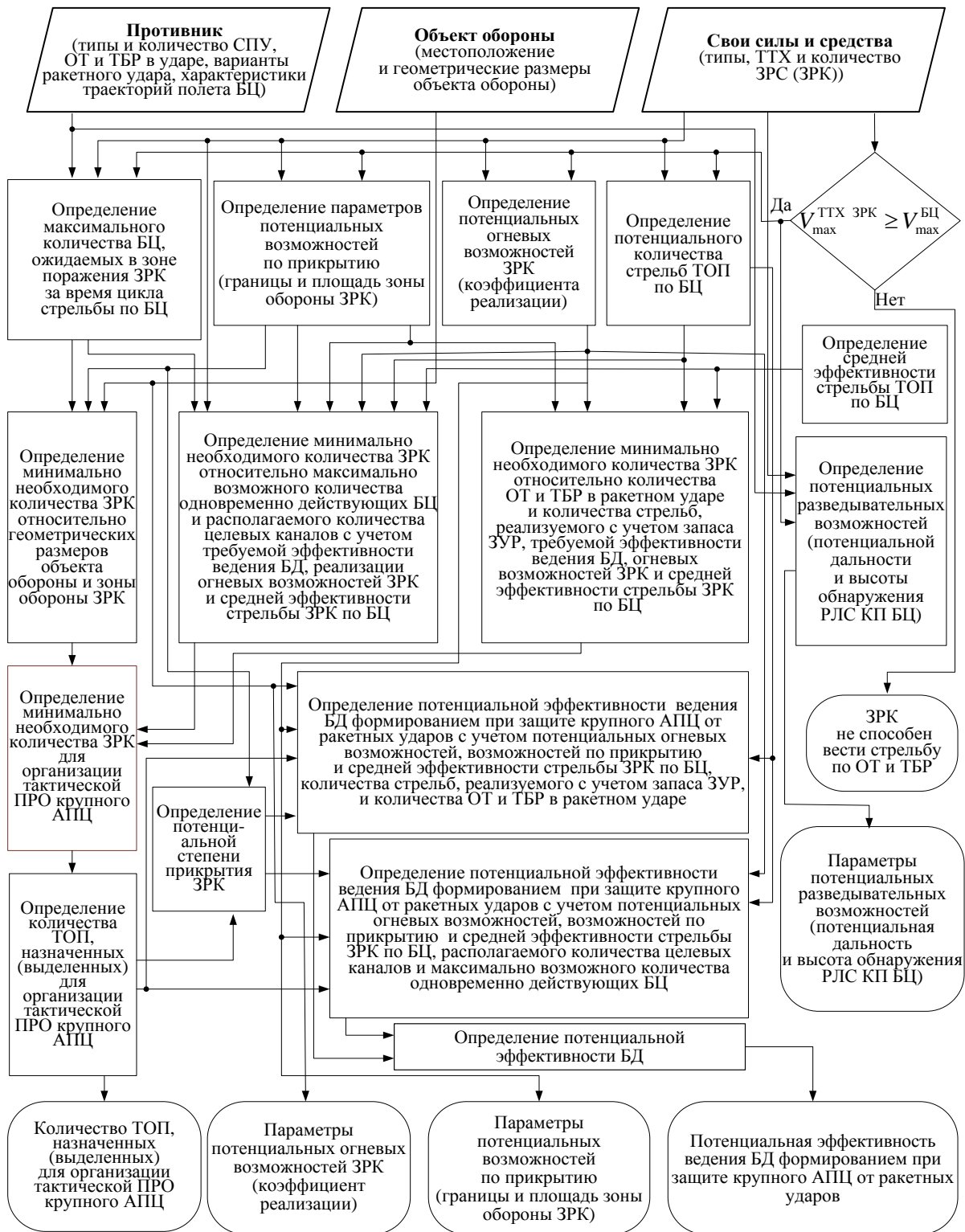


Рис. 3. Схема процесса оценки потенциальных боевых возможностей зенитного ракетного соединения (воинской части) по защите крупного АПЦ от ракетных ударов

Оценка позиции ТОП заключается в определении степени прикрытия объекта обороны этим ТОП, вероятности нахождения БЦ в зоне поражения ЗРК, времени полета ЗУР в точку встречи с БЦ, а также цикла требуемого времени на обнаружение этой цели РЛС КП формирования. По результатам оценки определяется район рекомендуемого размещения (РРР) ТОП – территория, при размещении в границах которой ТОП сможет осуществить обстрел БЦ, летящей на объект обороны [9, 10]. Границы этого района предопределяют геометрические размеры приведенного объекта обороны, требуемую степень его прикрытия, предельные угловые параметры траектории полета БЦ и параметры зоны обороны ЗРК (рис. 4).

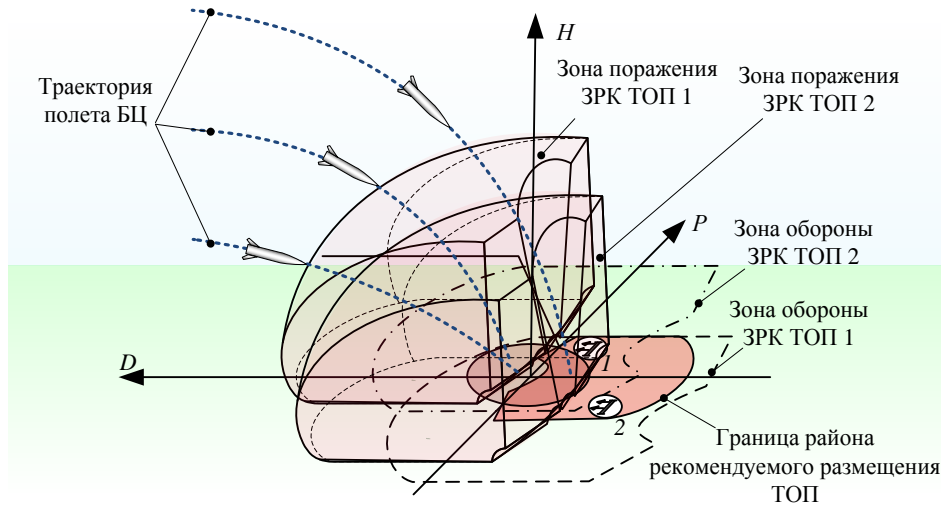


Рис. 4. Вариант расположения двух ТОП в границах района их рекомендуемого размещения

Фронтальную ($d_{зр\phi}$) и тыльную ($d_{зр\tau}$) границы района рекомендуемого размещения ТОП для обеспечения прикрытия АПЦ от ударов противника ОТ и ТБР со степенью не менее единицы определяют как

$$d_{зр\phi}(\Delta p) = \begin{cases} \left| \sqrt{d_6^2 - \Delta p^2} - K_{\theta_{\max}} \right| - R_{об} & \text{при } \Delta p \leq d_6 K_{q_{\max}}, \\ \left| \Delta p \operatorname{ctg} q_{\max} - K_{\theta_{\max}} \right| - R_{об} & \text{при } \Delta p > d_6 K_{q_{\max}}, \end{cases}$$

$$\Delta p \in [p_{зр\lambda}, p_{зр\pi}];$$

$$d_{зр\tau}(\Delta p) = R_{об} - \left| \sqrt{d_d^2 - \Delta p^2} - K_{\theta_{\min}} \right|, \Delta p \in [p_{зр\lambda}, p_{зр\pi}],$$

где d_6 и d_d – горизонтальные дальности до ближней и дальней границ зоны поражения ЗРК от позиции;

Δp – проекция точки стояния (позиции) ТОП на ось OP , значения которой выбирают между левой и правой фланговыми границами указанной зоны с шагом (к примеру, 0,5–1 км), достаточным для графического отображения данных границ;

$K_{\theta_{\max}}$ и $K_{q_{\max}}$ – поправки, учитывающие влияние максимально возможного угла падения БЦ (реализуемого в заданных условиях) и максимального курсового угла (q_{\max}) обстреливаемой ракеты на удаление ближней границы зоны соответственно, а $K_{\theta_{\min}}$ – влияние минимально возможного угла падения БЦ на удаление дальней границы зоны обороны ЗРК от ТОП;

$p_{зр\lambda}$ и $p_{зр\pi}$ – левая и правая фланговые границы указанного района, определяемые как

$$p_{зр\lambda} = P_{пр} - R_{об} \quad \text{при } d_{зр\lambda} \in [d_{зр\phi}(p_{зр\lambda}); d_{зр\tau}(p_{зр\lambda})],$$

$$p_{зр\pi} = -p_{зр\lambda} \quad \text{при } d_{зр\pi} \in [d_{зр\phi}(p_{зр\pi}); d_{зр\tau}(p_{зр\pi})].$$

Здесь $d_{ЗР\phi}(p_{ЗР\lambda})$ и $d_{ЗР\tau}(p_{ЗР\lambda})$ – значения удалений фронтальной и тыльной границ района рекомендуемого размещения ТОП от оси OD в точке пересечения указанных границ с левой фланговой границей данного района, а $d_{ЗР\phi}(p_{ЗР\mu})$ и $d_{ЗР\tau}(p_{ЗР\mu})$ – с правой фланговой границей.

Поправки, учитывающие влияние углов падения и курсового угла полета БЦ, рассчитываются по выражениям [5, 9]

$$K_{\theta_{\min}} = (H_{\min} + \Delta L \sin(\theta_{\min})) \operatorname{ctg}(\theta_{\min}),$$

$$K_{\theta_{\max}} = (H_{\max} - \Delta L \sin(\theta_{\max})) \operatorname{ctg}(\theta_{\max}),$$

$$K_{q_{\max}} = d_{\sigma} \sin(q_{\max}),$$

где H_{\min} и H_{\max} – минимальная и максимальная высота зоны поражения ЗРК при стрельбе ЗРК по БЦ;

ΔL – расстояние, проходящее БЦ за промежуток времени между пусками ЗУР при стрельбе ЗРК очередью и определяемое по формуле [5]

$$\Delta L = \frac{(n_0 - 1) \Delta t_n V_{\text{БЦ ср}} V_{\text{ЗУР ср}}}{V_{\text{БЦ ср}} + V_{\text{ЗУР ср}}},$$

где n_0 – количество ЗУР в очереди при стрельбе ТОП по БЦ;

Δt_n – временной интервал между пусками ЗУР при стрельбе ЗРК очередью;

$V_{\text{БЦ ср}}$ и $V_{\text{ЗУР ср}}$ – средние скорости полета БЦ на конечном участке ее траектории и ЗУР.

Установление значений параметров границ рекомендуется осуществлять по схеме, представленной на рис. 5.



Рис. 5. Схема процесса определения границ района рекомендуемого размещения ТОП

Суть подхода к обоснованию местоположения КП заключается в определении территории, при нахождении в пределах которой РЛС обеспечивается своевременное обнаружение БЦ с учетом возможных вариантов траекторий ее полета. Эту территорию будем считать районом рекомендуемого размещения РЛС КП [7–10].

Пригодность позиции для обнаружения РЛС баллистической цели, осуществляющей полет по максимально реализуемой крутой (навесной) траектории, определяется с учетом удаления позиции СПУ ОТБР и ТБР от точки прицеливания БЦ при выполнении условия

$$\begin{cases} \varepsilon_{\text{БЦ тек } k} \leq \varepsilon_{\text{РЛС max}}, \\ d_{\text{обн. min}} \leq d_{\text{обн. тек } k} \leq D_{\text{обн. реализ}}, \\ t_{\text{потр } k} \leq t_{\text{пад БЦ } k}, \end{cases}$$

где $\varepsilon_{\text{БЦ тек } k}$ – угол, формируемый плоскостью DOP и текущей точкой полета БЦ;

$\varepsilon_{\text{РЛС max}}$ – максимальный угол обзора РЛС по углу места;

$d_{\text{обн. min}}$ – минимально требуемая дальность обнаружения БЦ для своевременного обстрела цели ТОП;

$d_{\text{обн. тек } k}$ – расстояние от позиции РЛС до текущей точки полета БЦ;

$t_{\text{потр } k}$ – время, требуемое на обстрел БЦ при ее нахождении в текущей точке полета.

За показатель качества позиции РЛС КП выбрана вероятность обстрела цели ЗРК.

Вероятность пропуска цели определяют по накопленным статистическим данным с доверительным интервалом 0,01 и доверительной вероятностью не менее 0,97. По значениям координат позиции РЛС КП, при которых вероятность обстрела БЦ принимает максимальное значение, определяют оптимальную позицию.

Для поиска наилучшей позиции РЛС в пределах района возможного размещения (РВР) вероятность обстрела цели ЗРК представляют аппроксимирующей функцией (зависимостью от координат позиции РЛС):

$$P_{\text{обстр}}(d_{\text{РЛС}}, p_{\text{РЛС}}) = \sum_{i=1}^n k_{d_i} d_{\text{РЛС}}^i \sum_{j=1}^m k_{p_j} p_{\text{РЛС}}^j \mid (d_{\text{РЛС}}, p_{\text{РЛС}}) \in \{\text{РВР}\}, P_{\text{обстр}} > 0,95,$$

где $P_{\text{обстр}}(d_{\text{РЛС}}, p_{\text{РЛС}})$ – вероятность обстрела цели ЗРК в зависимости от координат позиции РЛС $(d_{\text{РЛС}}, p_{\text{РЛС}})$;

n и m – значения степени полинома, аппроксимирующего зависимость вероятности обстрела цели ЗРК от дальности до цели и параметра ее движения соответственно. По результатам моделирования значения степени аппроксимирующего полинома $n = 5$ и $m = 8$ полностью удовлетворяют критериям χ^2 и Колмогорова – Смирнова [14, 15];

k_{d_i} и k_{p_j} – весовые коэффициенты i -го и j -го значений аппроксимирующего полинома, полученные методом регрессионного анализа в пределах ранее определенной зоны возможного размещения РЛС КП при условии $P_{\text{обстр}} \geq 0,95$;

$d_{\text{РЛС}}^i$ и $p_{\text{РЛС}}^j$ – значения координат позиции РЛС относительно центра объекта обороны в местной прямоугольной системе координат, возведенные в i -ю и j -ю степень аппроксимирующего полинома.

Местоположение рациональных позиции РЛС КП определяют условием

$$\{P_{\text{обстр}}(d_{\text{РЛС}}, p_{\text{РЛС}})\} \geq P_{\text{обстр. треб}} \text{ при } (d_{\text{РЛС}}, p_{\text{РЛС}}) \in \{\text{РРР}\},$$

где $P_{\text{обстр}}(d_{\text{РЛС}}, p_{\text{РЛС}})$ – вероятность обстрела цели ЗРК в зависимости от координат позиции РЛС $(d_{\text{РЛС}}, p_{\text{РЛС}})$.

Вариант формирования районов рекомендуемого размещения РЛС КП показан на рис. 6.

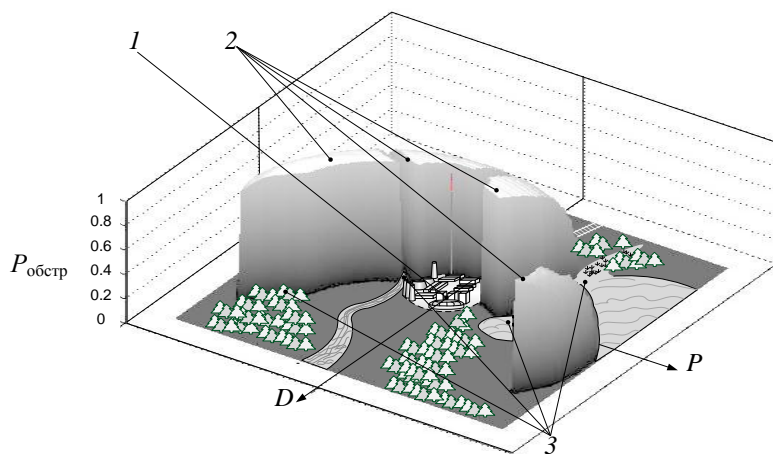


Рис. 6. Вариант решения задачи выбора позиции РЛС КП формирования тактической ПРО крупного АПЦ:
 1 – районы рекомендуемого размещения РЛС КП; 2 – объект обороны;
 3 – области, недоступные для размещения КП

Установление значений параметров границ рекомендуется осуществлять по схеме, представленной на рис. 7.

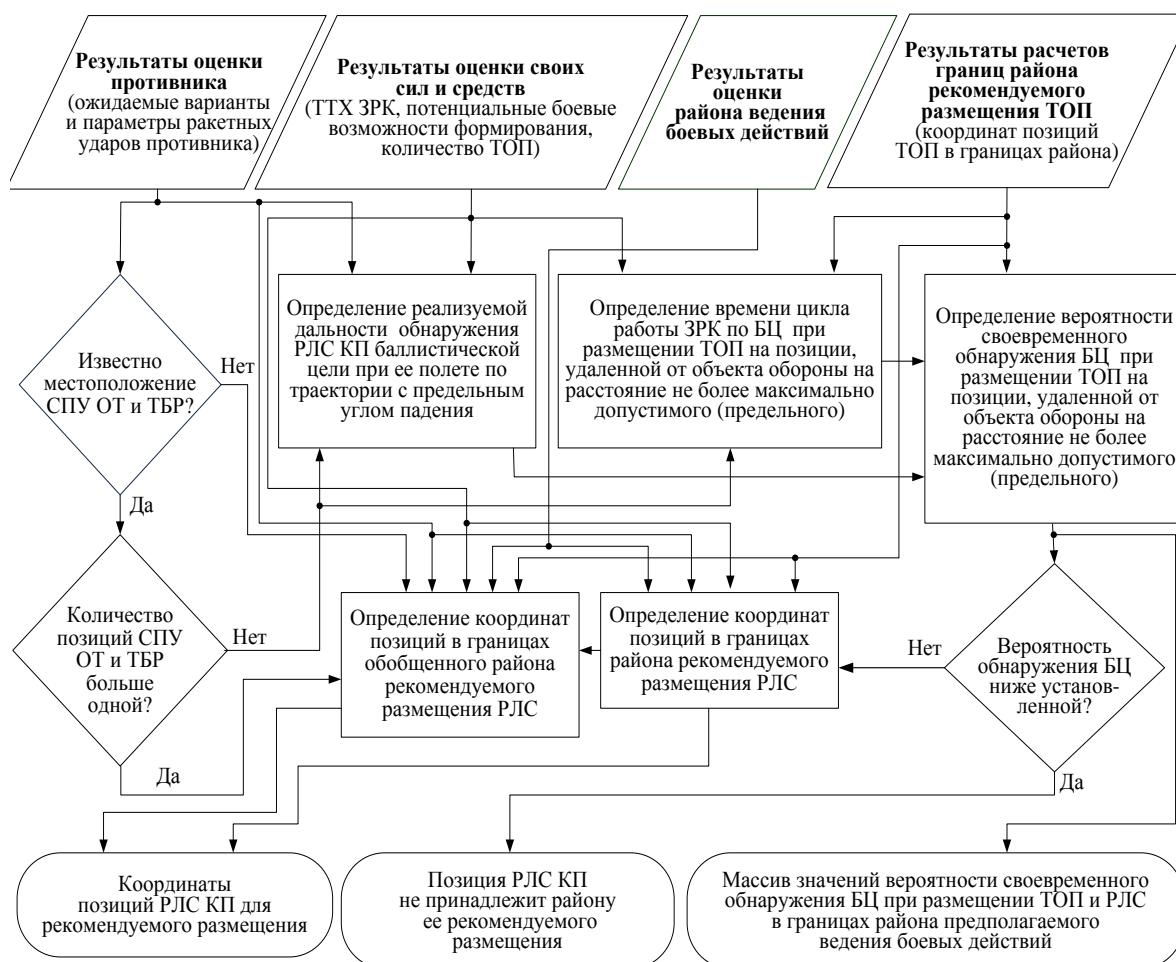


Рис. 7. Схема определения границ района рекомендуемого размещения РЛС КП формирования тактической ПРО

Оценка результатов ведения БД формированием тактической ПРО осуществляется по полученным значениям эффективности ведения БД формированием тактической ПРО. Рациональный вариант боевого порядка формирования определяется путем последовательной оценки каждого варианта размещения ТОП, выполнения условий обнаружения БЦ радиолокационной станцией КП и взаимного размещения ЗРК ТОП, пункта боевого управления и РЛС КП.

Допустимость взаимного размещения элементов боевого порядка формирования определяют с учетом обеспечения прикрытия тактико-огневыми подразделениями КП от ударов противника противорадиолокационными ракетами, управляемыми авиационными бомбами, крылатыми и баллистическими ракетами, а также выполнения условий по обмену телекодовой и оперативно-командной (речевой) информацией. При невыполнении этих требований производится повтор расчетов границ рекомендуемых районов размещения ТОП и РЛС с меньшими заданными значениями степени прикрытия объекта обороны тактико-огневыми подразделениями.

Повышение эффективности ПРО крупного АПЦ при размещении ТОП и РЛС в предлагаемых боевых порядках формирования тактической ПРО проверено по результатам имитационного моделирования БД на комплексе моделирования БД «Свислочь-1». Комплекс прошел государственные испытания и принят на снабжение командованием ВВС и войск ПВО.

В связи с тем что «Свислочь-1» не позволяет в полном объеме осуществлять моделирование БД соединений (воинских частей) ЗРВ в условиях применения ОТ и ТБР противника, были приняты специальные дополнительные меры, которые включали:

- ввод ТТХ ракеты АТАКМС-1А;
- ввод контрольных точек, характеризующих местоположение БЦ в пространстве с учетом скорости и баллистической траектории полета ракеты;
- задание боевого наряда ракет на объект поражения (каждую точку прицеливания) с установлением пространственных интервалов между ракетами в группе;
- ввод характеристик зоны поражения ЗРК при стрельбе по БЦ.

Проведенное моделирование подтвердило адекватность предложенной технологии и показало, что ее использование позволяет повысить эффективность тактической ПРО объекта не менее чем на 7–10 % в зависимости от обстановки.

2. Автоматизированное управление тактико-огневыми подразделениями формирования тактической ПРО в ходе боевых действий

Автоматизированное управление ТОП в ходе боевых действий (управление огнем) осуществляется, как правило, централизованно путем выдачи целеуказания (ЦУ) тактико-огневым подразделениям с КП. Основным недостатком такого способа управления является существенная вероятность пропуска целей, обусловленная ошибками целераспределения (ЦР). Причинами, приводящими к неправильному ЦР, являются случайные и систематические ошибки определения координат и параметров движения целей, ошибки времени измерения координат [13].

Для оценки влияния указанных факторов на качество решения задачи ЦР авторами разработана имитационная математическая модель, позволяющая сформировать массив множества результатов ЦР в совокупности с соответствующими значениями ошибок и задержек (рис. 8).



Рис. 8. Структура модели решения задачи целераспределения

Результатом работы модели является накопленная статистика, включающая значения координат и параметров движения цели. Статистическая обработка результатов позволяет выявить зависимость вероятности пропуска цели от значений факторов и их взаимосвязей, а также определить допустимые значения факторов для заданной вероятности ошибки ЦР.

На примере ТОП, оснащенного ЗРС С-300В и осуществляющего прикрытие точечного объекта обороны от удара ракетами типа АТАКМС, по результатам моделирования получены зависимости значения вероятности пропуска цели из-за неправильного ЦР при различных значениях факторов. В целях снижения их негативного действия предложены методы оптимизации обработки радиолокационной разведывательной информации путем измерения и компенсации систематических ошибок, оптимизации управления огневыми подразделениями с использованием обратной информации.

При разработке модели приняты следующие допущения и ограничения [13]:

- налет представляет собой случайный процесс, распределение равномерное от одной до шести баллистических ракет в минуту;
- юстировка ЗРК произведена в соответствии с требованиями руководящих документов по эксплуатации;
- на позициях РЛС обеспечены нулевые углы закрытия;
- в алгоритме ЦР использован критерий минимума подлетного времени до точки встречи ракеты с целью в пределах зоны поражения;
- задача ЦР в модели решена по данным имитированной воздушной обстановки как без ошибок измерения (эталон), так и с внесенными ошибками;
- по данным обратной информации от ЗРК произведена коррекция ошибочного ЦР при невозможности обстрела цели назначенным ТОП;
- модуль накопления статистики сохраняет для каждого варианта налета значения координат и параметров движения целей, значения внесенных ошибок и соответствующие им выходные данные моделирования.

Для сопровождения целей по данным РЛС КП применена методика квазилинейной фильтрации оценок при прямом измерении [14], при использовании данных обратных координат – методика квазилинейной фильтрации оценок при косвенном измерении.

Выходными данными являются значения показателя эффективности автоматизированной системы управления (АСУ) ЗРС для каждого варианта ракетного удара и вероятность пропуска цели. Полагая, что цель функционирования АСУ ЗРС заключается в максимальном использовании потенциальных возможностей управляемых объектов (ЗРК), в качестве показателя эффективности АСУ выбрано отношение среднего количества обстрелянных целей к среднему количеству целей, атакующих обороняемый район.

Дисперсионный анализ влияния факторов на вероятность пропуска цели в момент ЦР на дальней границе зоны поражения, результаты которого приведены в таблице, свидетельствует, что основными причинами ошибочного ЦР являются ошибки при определении скорости, курса и тангажа.

Средние значения весов факторов ошибок целераспределения

Траектория	Вес фактора ошибки, %					
	дальности	азимута	угла места	скорости	курса	тангажа
Настильная	2	1	1	84	9	3
Оптимальная	1	2	1	43	36	11
Навесная	1	2	2	19	52	24

Основным негативным фактором, снижающим эффективность управления огнем ТОП, является недостаточное качество информации, прежде всего о параметрах движения целей, используемой для решения задачи ЦР.

Для решения изложенной проблемы требуется обеспечить возможность своевременного обстрела цели ТОП и повысить точность определения скорости, курса и тангажа цели к момен-

ту ЦР. Для выполнения указанных требований предлагается следующий способ управления огнем ТОП [13]:

1. При получении от средства разведки информации об обнаружении атакующей ТБР незамедлительно в автоматическом режиме выдавать по ней ЦУ всем ТОП с признаком запрета пуска.

2. По мере получения от ТОП обратной информации использовать ее для обобщения с данными от РЛС КП, уточняя тем самым параметры движения цели.

3. По уточненным данным принимать окончательное решение на ЦР, по результатам которого назначенному ТОП выдавать сообщение с признаком разрешения пуска, а остальным ТОП отменять ЦУ.

4. Если БЦ назначена ближнему ТОП и имеется дальнейшее ТОП, которое по балансу времени способно обстрелять цель в случае ее пропуска назначенным ТОП, то дальнейшему ТОП отмена ЦУ не выдается, а его целевой канал продолжает сопровождать цель. При поражении цели ближним ТОП дальнейшему выдается отмена ЦУ, в противном случае запрет пуска отменяется и дальний ТОП производит обстрел цели.

На рис. 9 показана схема реализации данного способа.

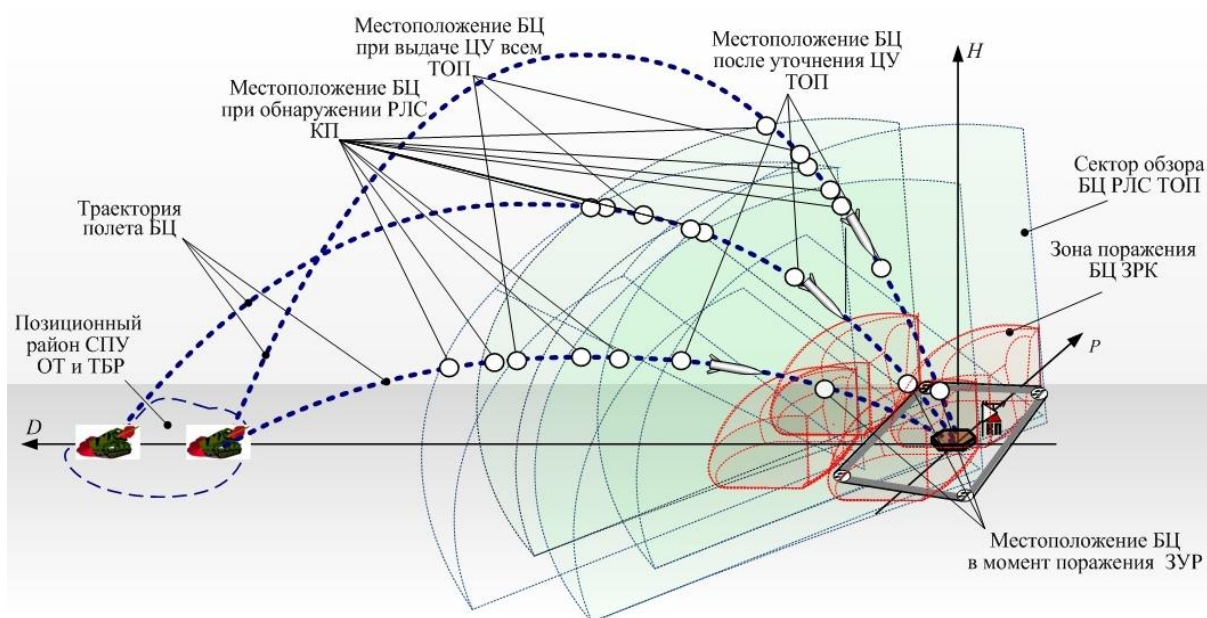


Рис. 9. Схема реализации способа управления огнем формирования тактической ПРО

Результаты расчета показывают, что при наличии систематических ошибок использование информации от ближних, а затем и дальних ТОП приводит к росту ошибок сопровождения, так как при малом числе измерений

$$\sigma_{\text{КП}}^2 < \left((\sigma_{\text{КП}}^2 + \Delta_{\text{КП}}^2)^{-1} + (\sigma_{\text{ТОП1}}^2 + \Delta_{\text{ТОП1}}^2)^{-1} + (\sigma_{\text{ТОП2}}^2 + \Delta_{\text{ТОП2}}^2)^{-1} \right)^{-1},$$

где $\sigma_{\text{КП}}$ – суммарные случайные и систематические ошибки определения пространственно-временных параметров траектории полета баллистической цели РЛС КП;

$\Delta_{\text{КП}}$ – суммарные систематические ошибки определения пространственно-временных параметров траектории полета баллистической цели РЛС КП;

$\sigma_{\text{ТОП1}}$ и $\sigma_{\text{ТОП2}}$ – суммарные случайные ошибки определения пространственно-временных параметров траектории полета баллистической цели РЛС ближнего и дальнего ТОП соответственно;

$\Delta_{\text{ТОП1}}$ и $\Delta_{\text{ТОП2}}$ – суммарные систематические ошибки определения пространственно-временных параметров траектории полета баллистической цели РЛС ближнего и дальнего ТОП соответственно.

По мере накопления информации количество суммарных ошибок плавно уменьшается до наименьшего значения.

Полученная по результатам моделирования [13] зависимость вероятности пропуска цели ($P_{\text{проп}}$) из-за неправильного ЦР от времени сопровождения для различных траекторий при сопровождении цели по данным только от РЛС КП и с учетом данных обратных координат от РЛС ТОП показана на рис. 10, а, а соответствующие значения эффективности АСУ (управления огнем) ТОП ($W_{\text{АСУ}}$) – на рис. 10, б.

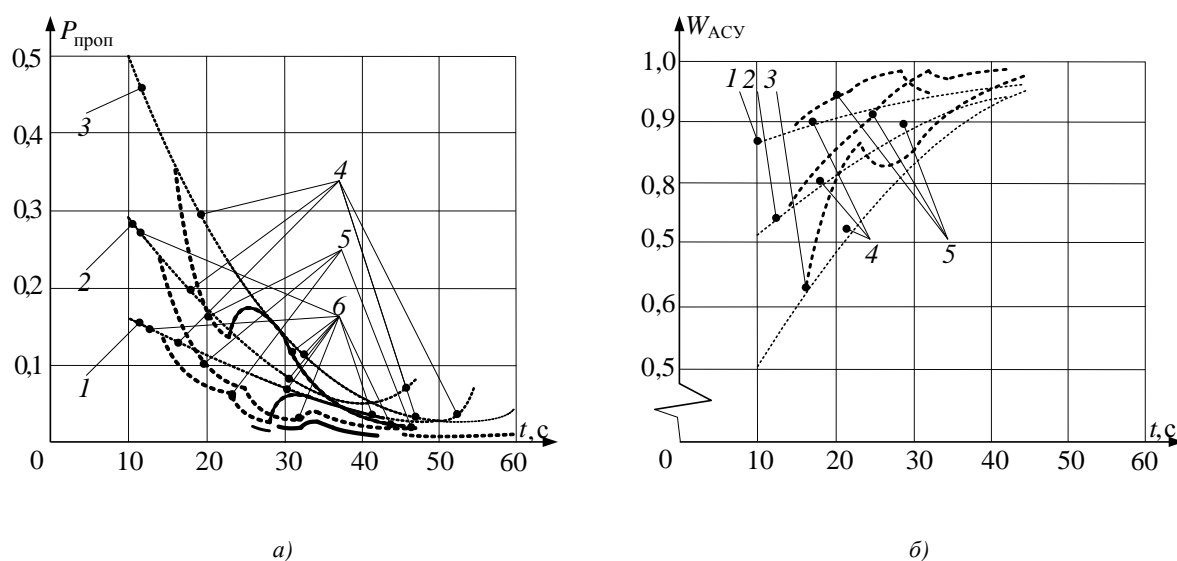


Рис. 10. Результаты моделирования боевых действий формирования тактической ПРО:
а) вероятность пропуска цели; б) эффективность управления огнем ТОП;

- 1 – при оптимальной траектории полета ракеты, 2 – при настильной траектории полета ракеты,
3 – при навесной траектории полета ракеты, 4 – по данным от РЛС КП формирования,
5 – по данным от РЛС КП формирования и РЛС ТОП, 6 – зона ЦР

Анализ результатов позволяет утверждать, что за счет использования данных обратных координат от РЛС ТОП при условии компенсации их систематических ошибок измерения возможно снижение ошибок сопровождения цели по скорости, курсу и тангажу, благодаря чему повысится вероятность правильного ЦР. Повышение эффективности использования АСУ боевыми действиями тактической ПРО в зависимости от обстановки может составлять 3–10 %, что существенно снижает вероятность пропуска целей по причине ошибочного ЦР.

Таким образом, результаты моделирования БД формирования тактической ПРО подтверждают целесообразность применения предложенного способа управления с использованием свободных целевых каналов ТОП для доразведки сопровождаемых целей и уточнения параметров траекторий. Обобщение данных обратных координат от ТОП целесообразно проводить только при условии предварительной компенсации систематических ошибок всех используемых радиолокационных средств разведки.

Применение КСА разведывательной информации о воздушной обстановке от средств разведки различных типов, не входящих в штатный состав дивизиона (батареи), потенциально позволяет повысить вероятность своевременного приведения ТОП в боевую готовность и увеличить дальность обнаружения БЦ штатными РЛС КП [15].

Заключение

Реализация технологии автоматизированного выбора варианта боевого порядка формирования тактической ПРО в виде программного обеспечения делает возможным в сравнительно короткие сроки определить рациональный боевой порядок формирования. Исполнение предлагаемого математического аппарата и подходов в виде алгоритмов существующих и перспективных комплексов средств автоматизации управления силами и средствами ЗРВ позволит осуществить автоматизированную выработку рекомендаций по местоположению рационального позиционного района формирования, боевых позиций ТОП, позиции КП. Целесообразным представляется внедрение такого программного продукта в КСА в виде отдельного модуля, взаимодействующего с базами данных о противнике, характеристиками вооружения, военной и специальной техники, цифровыми картами местности, что позволит выполнять необходимые расчеты не только при заблаговременной подготовке к боевым действиям, но и в ходе смены позиций.

Внедрение предлагаемых подходов в форме алгоритмов существующих и перспективных КСА автоматизированной выработки рекомендаций по построению (перестроению) боевого порядка формирования тактической ПРО позволит повысить возможности АСУ по обоснованности и оперативности принимаемых решений на ведение боевых действий. Использование свободных целевых каналов ТОП для доразведки сопровождаемых целей при управлении огнем подразделениями формирования тактической ПРО повысит точность определения характеристик БЦ при ЦР.

Ряд проблемных вопросов автоматизации процесса планирования и ведения БД в условиях применения противником ОТ и ТБР могут быть решены с использованием имеющихся наработок специалистов учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь», ОАО «АГАТ – системы управления» – управляющей компании холдинга «Геоинформационные системы управления» и других ведущих специалистов в области ПРО.

Основными направлениями совершенствования КСА в интересах тактической ПРО объектов и войск являются разработка и внедрение алгоритмов:

- управления огнем ТОП (в том числе формирования тактической ПРО смешанного состава) по БЦ в уже созданных и принятых на вооружение АСУ «Поляна-РБ», ПБУ 9С457 с использованием обратной боевой радиолокационной информации от РЛС подразделений, а также взаимодействующих радиотехнических подразделений;
- обработки радиолокационной информации о БЦ в АСУ «Риф», «Простор»;
- определения районов вероятного размещения СПУ ОТ и ТБР противника, оптимальных позиций и рационального позиционного района формирования тактической ПРО в АСУ «Поляна-РБ», ПБУ 9С457;
- расчета траектории полета БЦ, зоны обороны ЗРК в комплексе моделирования БД «Свислочь».

Список литературы

1. Денисенко, И.Г. О возможных ударах баллистическими ракетами по крупным объектам / И.Г. Денисенко, О.В. Воронин // Наука и воен. безопасность. – 2014. – № 2. – С. 57–60.
2. Военный энциклопедический словарь. – М.: ЭКСМО, 2001. – 1024 с.
3. Корабельников, А.П. Противовоздушная оборона – опыт и современность / А. П. Корабельников. – Тверь : ВУ ПВО, 2001. – 64 с.
4. Неупокоев, Ф.К. Противовоздушный бой / Ф.К. Неупокоев. – М. : Воениздат, 1989. – 262 с.
5. Справочник офицера воздушно-космической обороны / Ю.Г. Аношко [и др.]. – Тверь : ВА ВКО, 2008. – 564 с.
6. Колодяжный, В.В. Методический подход к выбору позиций ЗРК при создании системы огня группировки ПВО с возможностями тактической противоракетной обороны / В.В. Колодяжный, А.А. Посудевский // Вестник Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2009. – № 1. – С. 4–9.
7. Способ размещения на местности средства разведки формирования тактической противоракетной обороны : пат. 21563 Респ. Беларусь / МПК G 01S 13/00 / О. В. Воронин,

С. В. Кругликов, Ю. Е. Кулешов, С. В. Потетенко ; заявитель УО «ВА РБ». – № а 20150060 ; заявл. 02.02.2015 ; опубл. 30.10.2016 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 5 (112). – С. 44.

8. Кругликов, С.В. Методика выбора позиции средств разведки формирования тактической противоракетной обороны / С.В. Кругликов, С.В. Потетенко, О.В. Воронин // Радиотехника. Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2014. – № 7. – С. 3–10.

9. Воронин, О.В. Выбор рационального варианта построения боевого порядка формирования тактической противоракетной обороны методом итераций / О.В. Воронин // Сб. науч. статей Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2017. – № 32. – С. 30–38.

10. Воронин, О.В. Научно-методический аппарат обоснования боевых порядков формирования тактической противоракетной обороны / О.В. Воронин, И. Г. Денисенко, С.В. Потетенко // Вестник Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 3(48). – С. 112–123.

11. Дмитриевский, А.А. Внешняя баллистика : учеб. для вузов / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко. – М. : Машиностроение, 2005. – 608 с.

12. Лысенко, Л.Н. Наведение и навигация баллистических ракет : учеб. пособие / Л.Н. Лысенко. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 672 с.

13. Совершенствование способа управления огневыми средствами тактической противоракетной обороны в условиях неточной информации / В.М. Ивашко и [др.]. // Вестник Акад. воен. наук. – 2013. – № 4(45). – С. 55–60.

14. Ширман Я.Д. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория : справочник. – М. : Радиотехника, 2006. – С. 345–370.

15. Потетенко, С.В. Методика отождествления и обобщения информации о воздушной обстановке от разнотипных источников в АСУ // С.В. Потетенко, С.В. Кругликов // Вестник Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 3(28). – С. 25–34.

Поступила 21.09.2017

¹Военная академия Республики Беларусь,
Минск, пр. Независимости, 220
e-mail: aleh31@mail.ru,
potetenko@tut.by,

²Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail:kruglikov_s@newman.bas-net.by

O.V. Voronin, S.V. Potetenko, S.V. Kruglikov

THE DEVELOPMENT OF AUTOMATION MANAGEMENT TOOLS BY THE DIVISIONS OF TACTICAL MISSILE DEFENSE

The article summarizes the basic directions of automation for planning and management of combat by the divisions of tactical missile defense. The article focuses on the problem of the automated choice of rational option for combat order and fire control carried out by the divisions of tactical missile defense during operation.