AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.377

М.А. Скибина, В.В. Типикин, А.И. Чижов

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МОРЕ В КРАТЧАЙШИЙ СРОК

Скибина Мария Анатольевна, кандидат физико-математических наук, окончила механико-математический факультет Ульяновского государственного университета (УлГУ). Ведущий инженер ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи в области исследования применимости генетических алгоритмов к проблеме оптимизации стохастических систем. [e-mail: mars@mv.ru].

Типикин Всеволод Валентинович, кандидат технических наук, окончил физико-технический факультет УлГУ. Заместитель главного конструктора ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи в области автоматизации проектирования информационных систем. [e-mail: mars@mv.ru].

Чижов Александр Игнатьевич, кандидат технических наук, окончил факультет боевых информационно-управляющих систем подводных лодок Высшего военно-морского училища радиоэлектроники им. А.С. Попова, радиотехнический факультет Военно-морской академии им. Н.Г. Кузнецова. Главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи в области автоматизации систем управления. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

В статье предложены пути по расширению функциональных возможностей комплексов оперативно-тактических расчетов в системе поддержки принятия решений на применение сил и средств флота в части реализации предварительной автоматической оценки эффективности поражения назначенных объектов на море в кратчайший срок. Представлены аналитические расчеты, предназначенные для определения пространственно-временных параметров при планировании поражения надводных боевых формирований (БФ) противника на море маневрирующими БФ ударных групп флота для сближения с маневрирующими вне их зон досягаемости силами противника на эффективную дистанцию применения оружия. Рассматривается алгоритм возможного оптимального распределения БФ по объектам поражения (ОП). Предложен алгоритм автоматизированного формирования предложений в график поражения объектов с расчетом необходимого боезапаса, применяемого по ОП, требуемого для достижения заданного уровня эффективности решения задачи. Представлены результаты расчетов пространственно-временных характеристик с использованием модуля автоматизированного построения кратчайшего маршрута развертывания.

Ключевые слова: проведение оперативно-тактических расчетов, поддержка принятия решений, поражение объектов на море.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-4-62-4-14

SUGGESTIONS FOR KILL PERFORMANCE FORECASTING OF VARIOUS OBJECTS AFLOAT AT THE SHORTEST TIME

Maria Anatolevna Skibina, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Faculty of Mechanics and Mathematics of Ulyanovsk State University (UISU); Leading Engineer at Federal Research and Production Center Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles in the field of the research of genetic algorithms applicable to problems of the stochastic system optimization. e-mail: mars@mv.ru.

Vsevolod Valentinovich Tipikin, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Faculty of Physics and Engineering of Ulyanovsk State University; Deputy Chief Designer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles in the field of computer-aided information system engineering. e-mail: mars@mv.ru.

Aleksandr Ignatevich Chizhov, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Faculty of Submarine Combat Information and Control Systems of the Popov Higher Naval Academy of Radio Electronics, the Radioengineering Faculty of N.G. Kuznetsov Naval Academy; Chief Specialist at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles in the field of control system automation. e-mail: mars@mv.ru.

Abstract

The paper suggests ways to enhance the operational and tactical calculation complexes forming a part of the decision-making support system for naval strength employment. These ways comprise automatic forecasting of kill performance of objects afloat at the shortest time. It gives analytical calculations determining space and time parameters for planning of destroying enemy's surface combat formations afloat by maneuvering combat formations of surface action groups. The combat formations are supposed to use these parameters to approach to enemy's forces maneuvering beyond their reach in order to provide an effective engagement range. The paper describes an algorithm of possible optimal allocation of combat formations per objects to be destroyed. It also suggests an algorithm of automatic generation of proposals to the object-destroying schedule including required ammunition calculations employed to destroy an object in order to comply with required level of decision-making effectiveness. The authors give the results of space and time parameters calculations using the module for computer-aided construction of the shortest deployment route.

Keywords: operational and tactical calculations, decision-making support, destroying objects afloat.

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в автоматизации деятельности органов военного управления (ОВУ) ВМФ различных уровней в системе поддержки принятия решений играет реализация программных комплексов моделей и методик поддержки оперативно-тактических расчетов (ОТР), которые предназначены для оценки эффективности вариантов действий сил (войск) по обоснованию элементов решения на применение сил (войск) флота [1, 2].

Основными целями применения данных комплексов являются:

- аналитическая поддержка,
- повышение оперативности и качества деятельности должностных лиц штабов, командных пунктов по разработке предложений и обоснованию решений командующих на применение сил (войск) флота в боевой и повседневной деятельности.

Научной и методологической основой разработки программных изделий моделей и методик ОТР являются:

- требования руководящих документов Министерства обороны РФ (ВМФ в частности), ГОСТ;
- результаты научно-исследовательских и диссертационных работ;

- постановки задач, в том числе из Центрального фонда алгоритмов и программ ВМФ, Фонда алгоритмов и программ Военно-морской академии.

В настоящее время наиболее актуальной задачей считается расширение функциональных возможностей существующих программных комплексов ОТР в части обеспечения автоматического формирования рекомендаций должностным лицам для выбора наиболее оптимального решения по применению сил и средств для оперативного выполнения поставленной задачи.

Одним из направлений по расширению функциональных возможностей комплексов ОТР является предварительная автоматическая оценка эффективности поражения различных объектов на море в кратчайший срок.

1 ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

При подготовке предложений в решения командующих на применение сил (войск) флота по поражению различных объектов на море должностные лица ОВУ проводят ОТР с применением различных комплексов моделей и методик для обоснования соответствующих показателей эффективности действий сил [3–5].

Как правило, при оценке эффективности поражения различных объектов на море технология работы

Таблица 1

Матрица эффективности

Варианты действий	Ψ_1	Ψ_2	...	Ψ_j	...	Ψ_1
Φ_1	$Kf_{i,j}$	$Kf_{i,j}$	...	$Kf_{i,j}$	...	$Kf_{i,j}$
Φ_2	$Kf_{i,j}$	$Kf_{i,j}$	...	$Kf_{i,j}$	...	$Kf_{i,j}$
...	...	...	...	...	...	...
Φ_i	$Kf_{i,j}$	$Kf_{i,j}$	...	$Kf_{i,j}$	...	$Kf_{i,j}$
...	...	...	...	...	...	...
Φ_M	$Kf_{i,j}$	$Kf_{i,j}$	...	$Kf_{i,j}$	...	$Kf_{i,j}$

должностных лиц с программными комплексами ОТР включает:

- выбор и запуск соответствующей методики;
- ввод характеристик варианта расчетов (новый, либо на основе другого из базы данных);
- ввод составов группировок сил (новый, либо корректура других вариантов из базы данных);
- назначение объектов и средств поражения для различных боевых формирований (БФ) группировки сил флота;
- назначение требуемых для моделирования пространственно-временных характеристик (огневые позиции БФ либо, при необходимости, маршруты развертывания БФ в районы огневых позиций);
- уточнение временных характеристик поражения (график огневого поражения);
- производство расчетов эффективности данного варианта действий сил;
- анализ результатов, при необходимости, корректура части исходных данных и перерасчет;
- автоматизированное формирование документов с результатами расчетов (пояснительной записки с таблицами и графической части для оформления карты);
- доклад Руководству о результатах расчетов в электронном виде (либо в распечатанном виде на бумаге).

Все расчеты проводятся на основе единой базы данных с актуальной нормативно-справочной и оперативной информацией. Это позволяет частично избавить должностных лиц от рутинного заполнения множества исходных данных, требующихся для проведения расчетов. Однако чем детальнее организовано моделирование в комплексах ОТР, тем больше требуется для него исходных данных, задаваемых вручную для различных вариантов действий сил.

Следует отметить, что в современной динамично развивающейся обстановке при непосредственном ведении боевых действий на море вопрос времени принятия решения на применение сил и средств стоит очень остро.

Под задачей обоснования (принятия) решений операций понимается задача выбора наилучшего способа действий из некоторого множества допустимых вариантов в прогнозируемых условиях обстановки [6, 7]. Пусть задано конечное множество своих возможных вариантов $\{\Phi_1, \dots, \Phi_M\}$ и конечное множество вариантов противника $\{\Psi_1, \dots, \Psi_N\}$. Условимся, что для каждой пары однозначно определяется количественная оценка (показатель эффективности) $Kf_{i,j} = F(\Phi_i, \Psi_j)$. Для расчета показателей эффективности разрабатывается математическая модель ведения боевых действий. Рассчитав с ее помощью значения показателя эффективности (целевой функции) $Kf_{i,j}$ для всех своих альтернативных вариантов и прогнозируемых вариантов действий противника, мы получаем так называемую «матрицу эффективности» (табл. 1). Для выбора лучшего варианта из M рассматриваемых необходимо проанализировать содержание матрицы эффективности. Однако маловероятно, чтобы планы действий противника были досто-

верно известны противоборствующей стороне, и был какой-то один исключительный вариант, который бы превосходил другие независимо от условий обстановки. Поэтому более реалистичен случай, когда матрица эффективности «противоречива», т. е. когда результативность действий одной из сторон существенно зависит от действий другой стороны.

С целью исключения множественности вариантов расчетов и определения оптимального варианта действий своих сил в текущей обстановке предлагается реализовать процедуру предварительной **автоматической** оценки эффективности поражения назначенных объектов в кратчайший срок.

Данную процедуру можно запускать уже после задания группировок сил и назначения объектов поражения БФ, так как для получения предварительной оценки данный минимум исходных данных уже достаточен, в частности это:

- время и место (географические координаты) обнаружения объекта поражения (ОП);
- состав сил ОП и предполагаемые параметры движения (курс, скорость);
- состав своих сил, их исходная дислокация на момент времени обнаружения ОП.

Задача предварительной оценки эффективности поражения состоит из нескольких этапов, каждый из которых является отдельной важной задачей.

На первом этапе происходит построение кратчайших маршрутов развертывания БФ своих сил для выхода в районы огневых позиций на эффективную дистанцию применения оружия. В случае, когда объекты поражения находятся в зоне БФ – маршруты развертывания не строятся, а эффективность поражения определяется из их фактического места расположения.

На следующем этапе происходит моделирование действий сил и формирование графика поражения. В частности, моделируется движение БФ своих сил по кратчайшим маршрутам в районы огневых позиций, расположенные на эффективной дистанции поражения назначенных объектов противника. Далее оценивается эффективность поражения назначенных объектов рас-

четным количеством ударного оружия (не более штатного боекомплекта) БФ флота (с учетом противодействия сил противника). Результаты решения отображаются в табличном виде и в графическом на электронной карте.

В результате решения этой задачи лицо, принимающее решение (ЛПР), может быстро оценить максимально возможный уровень решения поставленной задачи. При неудовлетворительном результате (недостаточности своих сил и средств) или наличии уточняющих данных ЛПР имеет возможность откорректировать предлагаемое системой быстрое решение (предварительную оценку) и провести полноценное моделирование для получения нового решения.

2 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ МАРШРУТА РАЗВЕРТЫВАНИЯ СИЛ

Для решения данной задачи используются исходные данные о составе и местонахождении БФ своих сил и ОП противника. Для каждого БФ определяется желаемая дистанция сближения (D_z) с обнаруженным ОП. Как правило, это эффективная дальность применения ударного оружия. Нахождение D_z происходит путем анализа характеристик своих сил и средств. Из состава формирования своих сил определяется тактическая единица (ТЕ), на которой загружены средства поражения (СП), применимые по предполагаемой цели на максимально эффективной дальности.

БФ, для которого необходимо построить маршрут, назовем маневрирующим, ОП – целью. Таким образом задача построения кратчайшего маршрута развертывания на начальном этапе сводится к задаче нахождения координат точки сближения маневрирующего с целью на заданную дистанцию D_z и определения времени маневра [3, 8, 9].

Пусть $M_0 = (\varphi_{m0}; \lambda_{m0})$ – исходное местоположение маневрирующего, v_m – скорость маневрирующего, $O_0 = (\varphi_{obj0}; \lambda_{obj0})$ – точка обнаружения цели, K_{obj} – курс цели, v_{obj} – скорость цели, D_z – желаемая (заданная) дистанция сближения.

Сначала определяется возможность сближения на заданное расстояние исходя из условий:

$$\begin{cases} \text{если } v_m < v_{obj}, \text{ сближение возможно всегда,} \\ \text{если } v_m \geq v_{obj}, \text{ сближение возможно} \\ \quad \text{только в том случае,} \\ \text{если } q_{obj0} \leq Q + \Delta Q, \end{cases}$$

где q_{obj0} – начальный курсовой угол цели, $Q = \arcsin \frac{v_m}{v_{obj}}$ – критический курсовой угол,

$\Delta Q = \arcsin \frac{D_z}{D_0}$, D_0 – исходное расстояние между маневрирующим и целью.

Находим курс маневрирующего, K_m :

$$K_m = B_{mobj} - q_{m0},$$

где B_{mobj} – пеленг «маневрирующий – цель»; q_{m0} – начальный курсовой угол маневрирующего.

Курсовой угол маневрирующего (q_{m0}) на точку обнаружения цели определяется из выражений:

$$q_{m0} = \arcsin \frac{\sin q_{obj0}}{m},$$

где $m = \frac{v_m}{v_{obj}}$ – отношение скоростей маневрирующего и цели.

Время маневра t для сближения с целью на заданную дистанцию рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{D_0^{aux}}{v_{obj} \cos q_{obj0}^{aux} + v_m \cos q_{m0}^{aux}} - \frac{D_z}{v_m}.$$

Для нахождения времени маневра рассчитывается вспомогательная величина x :

$$x = \frac{v_{obj}}{v_m} D_z;$$

$$D_0^{aux} = \frac{x \sin q_{obj0}}{\sin \alpha}.$$

Величина x откладывается от начального места цели в направлении, противоположном ее курсу, и находится вспомогательная точка O_0^{aux} (рис. 1). Затем определяются вспомогательный угол α и вспомогательные курсовые углы маневрирующего (q_{m0}^{aux}) и цели (q_{obj0}^{aux}) из следующих выражений:

$$\alpha = \arctg \frac{\frac{\mu}{m} \sin q_{obj0}}{1 + \frac{\mu}{m} \cos q_{obj0}},$$

где $\mu = \frac{D_z}{D_0}$ – отношение заданной дистанции сближения к начальной дистанции между маневрирующим и целью в момент обнаружения;

$$q_{obj0}^{aux} = q_{obj0} - \alpha;$$

$$q_{m0}^{aux} = \arcsin \frac{\sin q_{obj0}^{aux}}{m}.$$

Зная курс маневрирующего и время маневра, находим желаемую позицию маневрирующего $M_1 = (\varphi_{m1}; \lambda_{m1})$:

$$M_1 = \text{getPosition}(M_0, t \cdot v_m, K_m),$$

где $\text{getPosition}(\text{InitialLocation}, \text{Distance}, \text{Course})$ – функция получения географических координат точки, отстоящей от исходного местоположения InitialLocation по курсу Course на расстояние Distance .

Рис. 1. Сближение на заданную дистанцию в кратчайший срок

Имея для каждого формирования своих сил координаты позиции применения оружия и время маневра, строим маршруты развертывания (*Route*) следующим образом: первая точка маршрута – исходная позиция формирования (M_0), время начала развертывания (T_0) = времени обнаружения ОП; следующая точка маршрута – найденная позиция возможного применения оружия (M_1), время окончания развертывания (T_f) = время начала развертывания + время маневра (t).

3 ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЙ СВОИХ СИЛ ПО ОП

После построения маршрутов развертывания своих сил для выхода на позицию применения оружия по ОП

возникает необходимость оптимального распределения БФ своих сил по ОП противника [10].

Пусть имеется множество БФ сил флота BF_i , $i = 1 \dots m$, с координатами $M_0^i = (\varphi_0^i; \lambda_0^i)$, скоростью v_m^i и множество ОП SO_j , $j = 1 \dots n$, с координатами $O_0^j = (\varphi_0^j; \lambda_0^j)$, скоростью v_{obj}^j , курсом K_{obj}^j . Известна вероятность поражения i -м БФ j -го ОП – P_{ij} и расстояние нанесения удара D_{zij} .

Для решения задачи распределения рассчитывается матрица маршрутов выдвижения на огневую позицию для каждой пары БФ–ОП $Route(BF_i; SO_j)$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$, по формулам построения кратчайшего маршрута:

$$\begin{bmatrix} (t_{11}, M_{blow}^{11}, P_{11}) & \dots & (t_{1n}, M_{blow}^{1n}, P_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (t_{m1}, M_{blow}^{m1}, P_{m1}) & \dots & (t_{mn}, M_{blow}^{mn}, P_{mn}) \end{bmatrix} \xrightarrow{A} \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{m1} & \dots & h_{mn} \end{bmatrix},$$

где t_{ij} – время выдвижения BF_i на ударную позицию для поражения SO_j ;

$M_{blow}^{ij} = (\varphi_{blow}^{ij}; \lambda_{blow}^{ij})$ – координаты ударной позиции;

P_{ij} – вероятность поражения;

A – алгоритм распределения;

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } BF_i \text{ распределен на } SO_j, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Полагаем, что $n = m$ и каждое БФ распределяется на один ОП:

$$\sum_{i=1}^n h_{ij} = \sum_{j=1}^n h_{ij} = 1; \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_{ij} = n.$$

Возможные критерии распределения:

- минимальное время поражения всех ОП при заданной суммарной вероятности;
- максимум суммарной вероятности поражения всех объектов за определенное время.

Минимизация времени:

$$T = \max_{i,j=1,\dots,n} \{T_{11}, \dots, T_{1n}, T_{21}, \dots, T_{2n}, T_{n1}, \dots, T_{nn}\} \rightarrow \min;$$

$$[T_{ij}] = [t_{ij}] \cdot [h_{ij}];$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} h_{ij} \geq P_0,$$

где P_0 – ограничение на суммарную вероятность поражения.

Задачу можно решить алгоритмом случайного поиска:

1. Формируются исходные данные:

- матрица маршрутов $[t_{ij}, M_{blow}^{ij}, P_{ij}]$;
- исходное распределение $[h_{ij}]$, например, $h_{ii} = 1$, $h_{ij} = 0, i, j = 1, \dots, n, i \neq j$;

2. Рассчитывается эталонное значение выбранного критерия при заданной матрице маршрутов и исходном распределении и ограничении:

$$T^{(3)} = \max_{i,j=1,\dots,n} \{T_{11}, \dots, T_{1n}, T_{21}, \dots, T_{2n}, T_{n1}, \dots, T_{nn}\};$$

$$[T_{ij}] = [t_{ij}] \cdot [h_{ij}];$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} h_{ij} = P^{(3)};$$

3. Устанавливается эталонное распределение, равное исходному:

$$[h_{ij}^{(3)}] = [h_{ij}];$$

4. Случайным образом выбираются два столбца в матрице распределения и меняются местами, образуя новое распределение:

$$\begin{bmatrix} h_{11} \dots h_{1u} & \dots & h_{1z} \dots h_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1} \dots h_{nu} & \dots & h_{nz} \dots h_{nn} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} h_{11} \dots h_{1z} & \dots & h_{1u} \dots h_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1} \dots h_{nz} & \dots & h_{nu} \dots h_{nn} \end{bmatrix};$$

5. Для полученного распределения рассчитывается значение критерия и ограничения:

$$T = \max_{i,j=1,\dots,n} \{T_{11}, \dots, T_{1n}, \dots, T_{n1}, \dots, T_{nn}\};$$

$$[T_{ij}] = [t_{ij}] \cdot [h_{ij}];$$

$$P = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} h_{ij};$$

6. Если полученное значение критерия меньше эталонного, а суммарная вероятность не меньше заданного ограничения, то новое распределение становится эталонным:

$$[T < T^{(3)} \vee P > P_0] \rightarrow [h_{ij}^{(3)}] := [h_{ij}], T^{(3)} := T;$$

переход к п. 4;

7. Если полученное значение критерия больше или равно эталонному, а ограничение не выполняется, то эталонное значение критерия и эталонное распределение остаются без изменения. Выполняется заданное число перестановок, если критерий не изменяется, то решение заканчивается.

4 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ В ГРАФИК ПОРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Для решения данной задачи также используются исходные данные о составе и местоположении БФ своих сил и ОП противника.

Для автоматизированного формирования предложений в график поражения смоделируем возможные действия сил с учетом информации о предполагаемых ОП и выбранных маршрутах развертывания сил, сформированных на предыдущем этапе [11, 12].

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма формирования предложений в график поражения.

Моделирование начинается с момента времени $T_{start} = \min(Route(BF_i).T_0)$ – маршрут развертывания БФ своих сил BF_i ($i = 1 \dots m$, m – количество БФ). Модельное время устанавливается равным времени старта $t = T_{start}$. Затем определяется взаимное местоположение всех сил (BF_i, SO_j – предполагаемые ОП, $j = 1 \dots n$, n – количество ОП) на момент времени t . Если дальность между БФ своих сил и ОП ($Distance(BF_i, SO_j)$) позволяет применить оружие (вышли на заданную позицию маневрирующего), то запоминаем модельное время, формируем удар ($Blow$) и помещаем его в список предложенных ударов графика поражения. Затем увеличиваем время в модели на шаг Δt (по умолчанию $\Delta t = 60$ с). Моделирование продолжается до тех пор, пока модельное время не превысит $T_{finish} = \max(Route(BF_i).T_f)$. На выходе имеем автоматически сформированный

Рис. 2. Блок-схема алгоритма формирования предложений в график поражения

график поражения объектов с достигаемой эффективностью решения задачи, который предлагается для рассмотрения ЛПР.

Особенностью алгоритма является расчет предлагаемого боезапаса при формировании удара, необходимого для достижения заданного уровня эффективности

решения задачи (K_e).

При независимых выстрелах, показательном законе поражения, одинаковой вероятности попадания для всех выстрелов вероятность поражения цели определяется по формуле [1]:

$$W_{amn} = 1 - \left(1 - \frac{p \cdot Q}{\omega} \right)^{amn},$$

где p – вероятность попадания, Q – вероятность преодоления снарядом противодействия противника, ω – среднее необходимое количество попаданий для поражения цели. Таким образом, предлагаемое для поражения количество снарядов можно вычислить по формуле:

$$amn = \frac{\log(1 - K_e)}{\log\left(1 - \frac{p \cdot Q}{\omega}\right)}.$$

5 ПРИМЕР РАСЧЕТА

С использованием модуля автоматизированного построения маршрута развертывания сил в составе комплекса ОТР сформированы кратчайшие маршруты развертывания формирований своих сил для выхода на эффективную дистанцию применения оружия по ОП (рис. 3, табл. 2, 3, 5, 6). Определены координаты огневых позиций и времена развертывания по кратчайшим маршрутам.

Получены необходимые данные (табл. 4–7) для выбора варианта действий своих сил и дальнейшего моделирования действий сил сторон с целью формирования графика огневого поражения и представления получен-

Рис. 3. Исходное расположение сил сторон

Таблица 2

Исходные данные. ОП – координаты обнаружения (широта, долгота), курс (град.), скорость (км/ч)

оп	SO_1	SO_2	SO_3	SO_4	SO_5	SO_6	SO_7	SO_8	SO_9
φ_0^j	41.01.48C	41.57.18C	41.26.41C	42.14.12C	42.57.44C	42.48.50C	43.41.14C	43.51.01C	44.31.53C
λ_0^j	030.21.37B	030.21.56B	028.57.18B	029.07.49B	029.46.37B	027.34.05B	029.20.13B	027.18.31B	029.19.37B
K_{obj}^j	63	81	69	80	84	96	92	82	81
v_{obj}^j	33.336	33.336	33.336	33.336	33.336	27.78	27.78	33.336	25.928

Таблица 3

Исходные данные. Формирования своих сил – исходное местоположение (широта, долгота), скорость (км/ч)

БФ	BF_1	BF_2	BF_3	BF_4	BF_5	BF_6	BF_7	BF_8	BF_9
φ_0^i	44.33.00C	41.41.10C	41.57.03C	42.55.18C	43.08.10C	43.38.10C	44.08.02C	44.33.12C	44.58.04C
λ_0^i	033.30.00B	033.29.00B	034.34.47B	033.32.02B	035.11.09B	034.07.38B	035.10.16B	035.44.15B	034.45.08B
v_m^i	37.04	25.928	18.52	18.52	18.52	22.224	22.224	24.076	18.52

Таблица 4

Исходные данные. Вероятность поражения каждой пары и дистанция поражения (км)

	SO_1	SO_2	SO_3	SO_4	SO_5	SO_6	SO_7	SO_8	SO_9
BF_1	84	84	84	84	84	84	84	84	84
	0.937	0.689	0.835	0.912	0.984	0.764	0.877	0.621	0.926
BF_2	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5
	0.965	0.899	0.903	0.832	0.756	0.876	0.765	0.939	0.734
BF_3	84	84	84	84	84	84	84	84	84
	0.937	0.945	0.817	0.678	0.984	0.854	0.694	0.877	0.745
BF_4	84	84	84	84	84	84	84	84	84
	0.937	0.876	0.88	0.917	0.984	0.98	0.867	0.612	0.67
BF_5	84	84	84	84	84	84	84	84	84
	0.633	0.999	0.987	0.984	0.667	0.984	0.984	0.623	0.984
BF_6	70	70	70	70	70	70	70	70	70
	0.996	0.61	0.97	0.999	0.748	0.98	0.999	0.748	0.899
BF_7	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5
	0.923	0.987	0.956	0.89	0.968	0.97	0.95	0.939	0.87
BF_8	84	84	84	84	84	84	84	84	84
	0.937	0.89	0.817	0.965	0.984	0.798	0.96	0.621	0.979
BF_9	84	84	84	84	84	84	84	84	84
	.937	0.88	0.978	0.874	0.984	0.76	0.746	0.87	0.9

Таблица 5

Результаты расчета маршрутов.

Координаты огневых позиций (широта, долгота) БФ для каждой пары, начальная дистанция до ОП (км) и время выдвигания (чч:мм:сс)

	SO_1	SO_2	SO_3	SO_4	SO_5	SO_6	SO_7	SO_8	SO_9
BF_1	42.36.13C	42.55.47C	42.48.29C	43.09.17C	43.38.12C	43.09.56C	43.59.45C	44.18.40C	44.39.59C
	032.44.55B	032.43.25B	031.50.42B	031.54.17B	032.08.09B	030.48.10B	031.42.32B	030.44.50B	031.38.10B
	467.78	384.53	506.17	437.36	347.84	515.59	346.71	500.86	331.62
	6:03:49	5:08:43	6:20:47	5:25:55	4:01:33	7:10:38	4:12:12	5:57:37	4:00:35
BF_2	41.35.53C	41.46.52C	41.47.28C	42.00.26C	42.13.36C	42.15.18C	42.38.50C	43.14.45C	43.36.04C
	032.51.39B	032.54.41B	032.14.57B	032.22.25B	032.38.33B	031.33.23B	032.24.22B	031.53.41B	032.40.24B
	271.28	260.73	378.61	365.96	336.76	503.86	406	559.46	462.89
	2:02:08	1:52:46	3:59:05	3:48:41	3:32:57	6:37:29	5:21:38	8:22:11	8:35:43

Продолжение табл. 5

	SO_1	SO_2	SO_3	SO_4	SO_5	SO_6	SO_7	SO_8	SO_9
BF_3	41.54.16C	42.07.29C	42.15.06C	42.27.02C	42.46.19C	42.29.24C	43.08.57C	43.57.58C	44.28.15C
	033.18.55B	033.25.20B	032.50.45B	033.01.43B	033.24.42B	032.14.00B	033.13.21B	033.15.24B	034.17.51B
	366.86	349.36	471.48	451.85	410.65	585.15	470.03	629.96	513.83
	5:40:11	5:16:42	7:57:06	7:32:15	7:09:32	10:56:52	9:22:30	13:25:13	15:10:01
BF_4	42.17.59C	42.34.12C	42.30.04C	42.44.31C	43.02.15C	42.46.57C	43.22.15C	43.55.07C	44.16.01C
	032.46.25B	032.46.20B	032.12.34B	032.18.01B	032.32.54B	031.32.42B	032.18.44B	031.54.11B	032.39.01B
	336.63	281.93	412.24	369.38	306.65	487.55	350.95	514.74	383.18
	5:01:39	3:58:28	6:22:47	5:33:08	4:23:46	8:49:02	6:00:16	9:18:22	8:56:34
BF_5	42.30.05C	42.40.01C	42.44.55C	42.55.09C	43.13.52C	42.49.55C	43.32.03C	44.10.50C	44.30.37C
	033.45.38B	033.50.41B	033.12.51B	033.20.55B	033.36.08B	032.32.35B	033.17.22B	032.56.00B	033.31.36B
	462.66	417.04	546.97	506.11	441.06	622.23	477.57	641.84	495.94
	7:21:19	6:32:59	8:59:41	8:11:22	6:58:31	11:46:49	8:38:26	11:38:28	10:56:59
BF_6	42.30.43C	42.45.09C	42.43.53C	42.58.47C	43.21.30C	42.56.01C	43.41.15C	44.12.07C	44.31.39C
	033.08.23B	033.08.27B	032.26.13B	032.30.56B	032.43.28B	031.38.20B	032.22.25B	031.46.33B	032.26.28B
	424.42	359.94	489.54	436.4	360.82	540.51	386.38	549.61	397.05
	6:41:03	5:42:14	7:39:39	6:44:14	5:17:28	9:44:31	6:22:10	8:57:19	7:32:09
BF_7	43.05.46C	43.17.44C	43.13.45C	43.25.50C	43.44.17C	43.19.16C	43.57.01C	44.18.17C	44.30.50C
	033.56.19B	034.00.45B	033.22.31B	033.29.55B	033.45.01B	032.39.07B	033.24.55B	032.45.45B	033.21.24B
	524.1	460.23	589.59	534.22	454.85	632.16	471.16	631.26	468.09
	6:51:10	5:56:04	7:55:53	7:00:16	5:30:04	9:59:47	6:23:55	8:42:09	6:47:01
BF_8	42.58.22C	43.03.53C	43.10.08C	43.19.56C	43.42.30C	43.07.23C	43.58.50C	44.32.39C	44.51.58C
	034.06.42B	034.16.15B	033.24.27B	033.33.03B	033.44.44B	032.36.00B	033.15.51B	032.34.43B	033.07.48B
	588.61	522.91	651.68	593.69	511.39	686.13	521.14	677.96	509.33
	9:05:50	8:26:20	10:04:00	9:12:51	7:41:02	12:23:02	8:37:02	10:25:31	8:42:10
BF_9	43.15.38C	43.15.22C	43.23.43C	43.31.34C	43.54.04C	43.14.05C	44.08.46C	44.37.51C	44.56.28C
	34.14.45B	034.32.33B	033.28.48B	033.35.16B	033.37.40B	032.45.49B	033.06.55B	032.26.01B	032.53.38B
	565.16	487.78	612.2	545.77	457.14	624.62	454.66	605.53	432.26
	10:28:23	10:18:31	10:54:59	10:00:03	8:01:13	13:29:29	8:34:48	10:06:33	7:55:07

Таблица 6

Результаты расчета маршрутов.
Координаты ОП (широта, долгота) на момент выхода БФ на дистанцию применения оружия

	SO_1	SO_2	SO_3	SO_4	SO_5	SO_6	SO_7	SO_8	SO_9
BF_1	41.50.10C	42.10.41C	42.06.10C	42.29.58C	43.04.36C	42.36.03C	43.38.29C	44.04.22C	44.40.13C
	032.31.43B	032.24.59B	031.20.35B	031.18.00B	031.24.57B	029.59.04B	030.47.00B	029.45.54B	030.37.19B
BF_2	41.18.18C	42.02.26C	41.51.49C	42.25.31C	43.03.52C	42.37.08C	43.37.32C	44.08.52C	44.48.41C
	031.04.56B	031.06.47B	030.26.56B	030.39.03B	031.13.17B	029.47.57B	031.10.52B	030.45.47B	032.06.36B
BF_3	41.47.06C	42.11.00C	42.15.40C	42.35.24C	43.08.58C	42.28.06C	43.33.36C	44.16.35C	44.58.45C
	032.23.10B	032.28.10B	031.57.17B	032.08.45B	032.41.43B	031.14.49B	032.33.33B	032.51.44B	034.15.15B
BF_4	41.42.04C	42.07.50C	42.06.22C	42.30.17C	43.05.10C	42.32.42C	43.36.58C	44.10.28C	44.49.16C
	032.09.16B	031.56.54B	031.21.21B	031.20.54B	031.34.01B	030.32.04B	031.24.08B	031.09.05B	032.13.23B

Продолжение табл. 6

	SO_1	SO_2	SO_3	SO_4	SO_5	SO_6	SO_7	SO_8	SO_9
BF_5	42.00.08C	42.13.58C	42.21.45C	42.37.01C	43.08.44C	42.26.14C	43.34.24C	44.14.08C	44.52.34C
	032.59.51B	032.58.42B	032.21.14B	032.24.29B	032.37.12B	031.31.30B	032.18.26B	032.07.18B	032.52.37B
BF_6	41.54.58C	42.12.01C	42.13.58C	42.33.23C	43.06.28C	42.30.44C	43.36.38C	44.09.53C	44.46.50C
	032.45.13B	032.38.23B	031.50.38B	031.49.27B	031.55.56B	030.50.38B	031.31.40B	031.00.21B	031.45.56B
BF_7	41.56.16C	42.12.33C	42.15.33C	42.34.04C	43.06.46C	42.30.11C	43.36.37C	44.09.27C	44.45.28C
	032.48.53B	032.43.55B	031.56.49B	031.55.53B	032.01.04B	030.55.44B	031.32.16B	030.54.04B	031.31.17B
BF_8	42.13.25C	42.18.06C	42.27.54C	42.39.28C	43.09.37C	42.24.52C	43.34.25C	44.12.17C	44.48.52C
	033.38.01B	033.44.10B	032.45.55B	032.49.15B	032.54.36B	031.43.35B	032.17.57B	031.36.58B	032.08.42B
BF_9	42.23.45C	42.21.54C	42.32.43C	42.41.18C	43.10.01C	42.22.17C	43.34.27C	44.11.47C	44.47.30C
	034.08.21B	034.29.15B	033.05.33B	033.08.17B	033.02.51B	032.05.44B	032.17.11B	031.29.06B	031.53.24B

Таблица 7

Результаты решения задачи распределения, $[h_{ij}]$

	SO_1	SO_2	SO_3	SO_4	SO_5	SO_6	SO_7	SO_8	SO_9
BF_1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
BF_2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
BF_3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
BF_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
BF_5	0	0	0	0	0	0	1	0	0
BF_6	0	0	0	0	0	0	0	0	1
BF_7	0	0	0	0	0	1	0	0	0
BF_8	0	0	1	0	0	0	0	0	0
BF_9	0	0	0	0	0	0	0	1	0

ных результатов моделирования ЛПР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На фоне современного развития образцов вооружения и военной техники, форм и способов их применения расширение функциональных возможностей комплексов ОТР, осуществляющих поддержку принятия решений на применение сил, является важной задачей. Особенно важен при оценке эффективности действий сил автоматизированный учет и последующий анализ различных видов обеспечения в едином комплексе.

В статье показаны пути решения по предварительной автоматической оценке эффективности поражения БФ флота различных объектов на море в кратчайший срок с учетом их пространственно-временных характеристик, типа ударного оружия и количества боезапаса.

Одним из направлений дальнейшего развития программных комплексов ОТР является реализация возможности автоматизированной оценки эффективности

действий сил флота по заданным вариантам в различных районах в соответствии с изменяющейся текущей обстановкой, получаемой из общей базы обстановки автоматизированной системы управления (АСУ). Таким образом в АСУ можно обеспечить постоянный мониторинг угроз для сил флота в определенных районах моря. Одним из элементов данного механизма могут являться процедуры, реализованные по материалам данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.К. Математическое моделирование в технологии проектирования АСУ. Ульяновск, 2007. 270 с.
2. Информационные технологии в системе управления силами ВМФ / В.Ф. Шпак [и др.]; под общ. ред. В.В. Авдошина. СПб.: Элмор, 2005. 832 с.
3. Справочник по исследованию операций / под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. М.: Воениздат, 1979. 368 с.

4. Справочник по вероятностным расчетам. М. : Воениздат, 1970. 536 с.
5. Абчук В.А. Поиск объектов. М. : Сов. Радио, 1977. 336 с.
6. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений. СПб. : «БХВ-Петербург», 2005. 416 с.
7. Грешилов А.А. Как принять наилучшее решение в реальных условиях. М. : Радио и связь, 1991. 320 с.
8. Навигация и лоция. Учебник для вузов / под ред. В.И. Дмитриева. М. : ИКЦ «Академкнига», 2007. 471 с.
9. Основы маневрирования кораблей / под общ. ред. М.И. Скворцова. М. : Воениздат, 1966. 272 с.
10. Амосов А.А., Дубянский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров : учеб. пособие. М. : Высш. шк., 1994. 544 с.
11. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – наука и искусство. М. : Мир, 1978.
12. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. 320 с.

REFERENCES

1. Ivanov A.K. *Matematicheskoe modelirovanie v tekhnologii proektirovaniia ASU* [Mathematical Modeling in the Procedure of C2 System Design]. Ulyanovsk, 2007. 270 p.
2. Shpak V.F. et al. *Informatsionnye tekhnologii v sisteme upravleniia silami VMF*. Pod obshch. red. V.V. Avdoshina [Information Technologies in Control Systems of the Naval Forces, V.V. Avdoshin (ed.)]. St. Petersburg, Elmor Publ., 2005. 832 p.
3. *Spravochnik po issledovaniuu operatsii*. Pod obshch. red. F.A. Matveichuka [Operational Research. Reference Guide, F.A. Matveichuk (ed.)]. Moscow, Voenizdat Publ., 1979. 368 p.
4. *Spravochnik po veroiatnostnym raschetam* [Probability Calculation. Reference Guide]. Moscow, Voenizdat Publ., 1970. 536 p.
5. Abchuk V.A. *Poisk obektov* [Object Search]. Moscow, Sov. Radio Publ., 1977. 336 p.
6. Chernorutskii I.G. *Metody priniatiia reshenii* [Decision-Making Techniques]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2005. 416 p.
7. Greshilov A.A. *Kak priniat nailuchshee reshenie v realnykh usloviakh* [How to Make the Best Decision in Real Conditions]. Moscow, Radio i Sviaz Publ., 1991. 320 p.
8. *Navigatsiia i lotsiia*. Uchebnik dlia vuzov. Pod red. V.I. Dmitrieva [Navigation and Sailing Directions. College Textbook, V.I. Dmitriev (ed.)]. Moscow, IKTs Akademkniga Publ., 2007. 471 p.
9. *Osnovy manevrirovaniia korablei*. Pod obshch. red. M.I. Skvortsova [Fundamentals of Surface Ship Maneuvering, M.I. Skvortsov (ed.)]. Moscow, Voenizdat Publ., 1966. 272 p.
10. Amosov A.A., Dubianskii Iu.A., Kopchenova N.V. *Vychislitelnye metody dlia inzhenerov*. Ucheb. posobie [Computational Techniques for Engineers. Textbook]. Moscow, Vyssh. Shk. Publ., 1994. 544 p.
11. Shennon R. *Imitatsionnoe modelirovanie sistem – nauka i iskusstvo* [System Simulation Study – Science and Skill]. Moscow, Mir Publ., 1978.
12. Samarskii A.A., Mikhailov A.P. *Matematicheskoe modelirovanie: Idei. Metody. Primery*. 2-e izd., ispr. [Mathematical Modeling. Ideas. Methods, Examples. 2nd Edition revised]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 320 p.