



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 146 за 2017 г.



ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Дидыч Я.О., [Малинецкий Г.Г.](#)

Об одной задаче
многоагентной оптимизации
в позиционных играх

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Дидыч Я.О., Малинецкий Г.Г. Об одной задаче многоагентной оптимизации в позиционных играх // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2017. № 146. 12 с. doi:[10.20948/prepr-2017-146](https://doi.org/10.20948/prepr-2017-146)
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2017-146>

Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук

Я.О. Дидыч, Г.Г. Малинецкий

Об одной задаче
многоагентной оптимизации
в позиционных играх

Москва — 2017

Дидыч Я.О., Малинецкий Г.Г.

Об одной задаче многоагентной оптимизации в позиционных играх

В работе рассматривается вариант классической задачи исследования операций, возникающей при анализе позиционных игр. В отличие от классической игры «морской бой» и других игр, в которых действия субъектов анализируются с помощью клеточных автоматов, в этой задаче есть новый принципиальный момент. Атакующая сторона обладает «интеллектуальной способностью» переоценивать обстановку в ходе атаки и учитывать, какие из фигур уже поражены.

Возникающая оптимизационная задача решалась методом отжига. Решение оказалось парадоксальным – при увеличении ресурса атакующей стороны оказалось необходимым менять и модель атаки. Полученные результаты проиллюстрированы на примере морского сражения, однако могут быть полезны при решении ряда задач оптимального управления ограниченными ресурсами.

Ключевые слова: позиционные игры, клеточные автоматы, математическое моделирование, авианосный ордер, метод имитации отжига, крылатые ракеты, многоагентные системы, задачи оптимизации

Didych Y.O., Malinetskii G.G.

About the one multiagent optimization problem in positional games

We consider a variant of the classical problem of operations research arising in the analysis of positional games. In contrast to the classic game of “sea battle” and other games in which the actions of subjects are analyzed with the help of cellular automata, there is a new fundamental moment in this task. The attacking side has the “intellectual ability” to overestimate the situation during the attack and take into account which of the figures are already defeated.

We solve the resulting optimization problem by means of simulated annealing. The solution turned out to be paradoxical. As the resource of the attacking side increases, it became necessary to change the attack model. The results obtained are illustrated by the example of the sea battle, but they can be useful in solving a number of problems of optimal control of limited resources.

Key words: positional games, cellular automata, mathematical modeling, carrier strike group, simulated annealing method, cruise missiles, multi-agent systems, optimization problems

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №16-01-00342).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развивается направление исследования операций, в котором рассматриваются коллективные действия игроков, решающих общую задачу, однако способных обмениваться весьма ограниченной информацией о действиях и положении друг друга. Простейшие модели в этой области связаны с анализом позиционных игр. В отличие от классической игры «морской бой» и ее обобщений, в которых действия субъектов анализируются с помощью клеточных автоматов, особый интерес представляют игры, в которых «фигуры» обладают «интеллектуальной способностью» переоценивать обстановку в ходе атаки и учитывать, какие из фигур противника уже поражены членами своей команды.

Продолжая традицию исследования операций, в которой простейшие игры были связаны с морскими сражениями (это позволяет не рассматривать передвижения в ходе боя или считать их незначительными), в качестве модельного примера рассмотрена задача атаки «крылатых ракет» на «авианосец». Задача состоит в минимизации количества ракет, которые с заданной вероятностью способны поразить авианосец, защищенный кораблями сопровождения. По сути дела, это упрощенный вариант шахматной игры, в которой надо поставить мат королю, но в которой с каждой из сторон играют несколько игроков, неспособных обмениваться своими оценками позиции и замыслами.

Для решения задачи построена компьютерная модель, имитирующая действия судов в море, и при помощи метода оптимизации – имитации отжига – получены искомые векторы целей. Работа носит методический характер; при задании характерных значений моделируемых объектов использованы данные из открытых источников [6-9]. Статья является продолжением труда авторов по применению клеточных автоматов для моделирования конфликтов [5].

Стоит отметить, что метод имитации отжига относится к эвристическим алгоритмам, которые в общем случае не гарантируют нахождения глобального экстремума целевой функции, но позволяют за небольшое время найти приемлемое решение (локальный экстремум). В условиях реальных боевых действий такой подход особенно ценен.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Имеется поле 25000x8000 клеток. На поле отмечены корабли вдоль одной линии в трех группах скопления. Каждый корабль задается координатой своего расположения, областью атаки (радиус правого полукруга перед ним), силой атаки (вероятность уничтожения ракеты при ее попадании в область атаки) и количеством ракет, необходимых для выведения корабля из строя. В процессе моделирования корабли на поле остаются неподвижными из-за физической особенности модели, а именно много меньшей скорости передвижения кораб-

лей по сравнению со скоростью движения крылатых ракет, достигающей 1-2 Махов. Схема типичного авианосного ордера представлена на рисунке 1.

Корабли в модели различаются по видам, соответствующим их характеристикам:

- авианосец;
- крейсер;
- эсминец.

Моделирование производилось для двух разных распределений кораблей по группам скопления. Далее по тексту они отмечены как вариант №1 и №2. Варианту №1 соответствует группировка «4 – 3 – 1», где 4 корабля приходится на главные силы (см. рис. 1), 3 корабля – на среднюю зону и 1 корабль – на передовой отряд. Вариант №2 означает расстановку «2 – 3 – 3» соответственно.

В таблицах 1 и 2 представлены свойства атаки и защиты для кораблей. В первой колонке указаны вид корабля и группа его расположения. Во второй колонке указана вероятность поражения ракеты, оказавшейся в поле действия атаки корабля. Факт уничтожения ракеты проверяется на каждом шаге алгоритма. В третьей колонке указана характеристика живучести корабля – а именно, количество попаданий ракет, которое он способен выдержать.

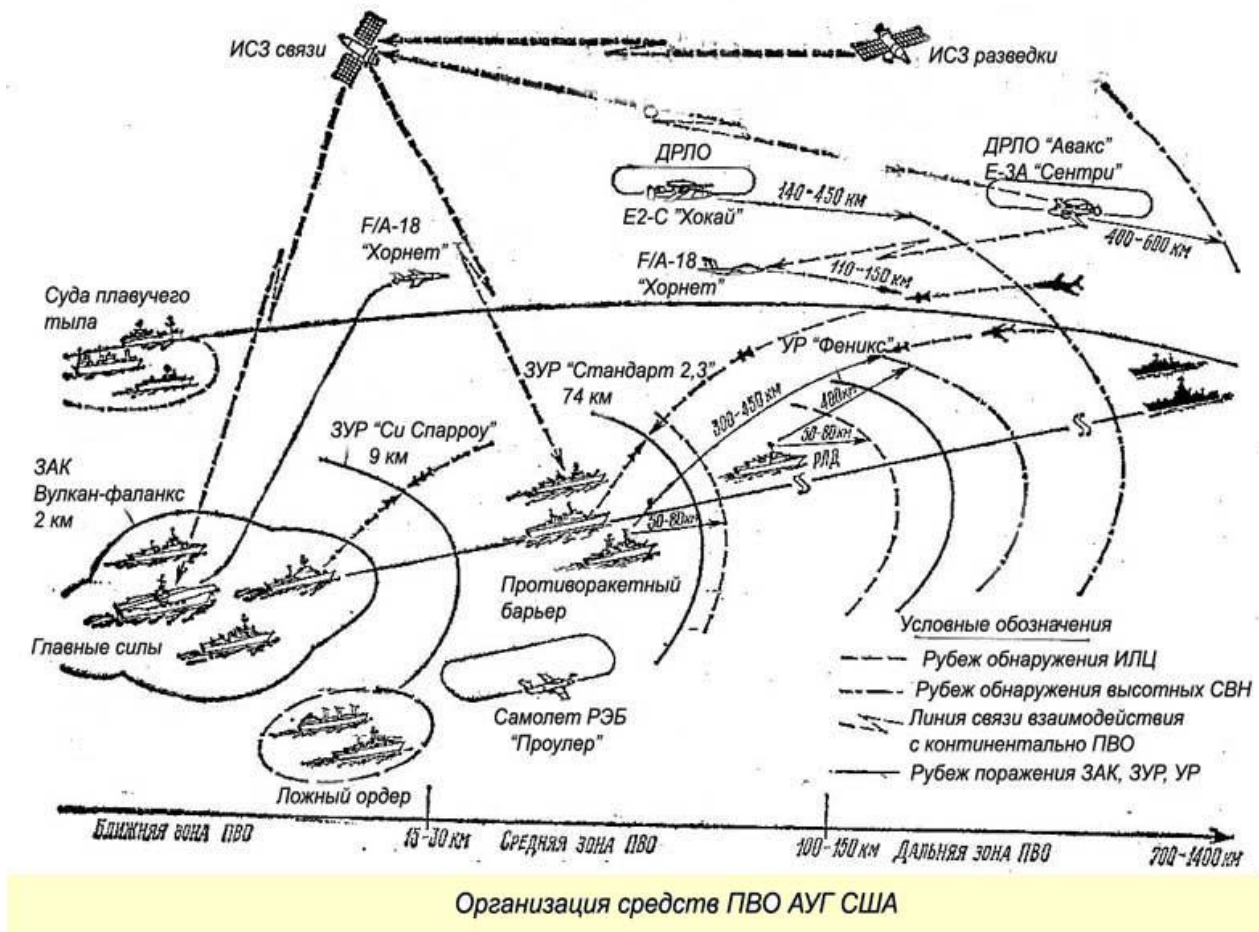


Рис. 1. Структура авианосной ударной группы [6]

Таблица 1. Характеристики кораблей атаки и защиты (вариант 1)

Вид корабля	Вероятность уничтожения ракеты на каждом шаге, р	Количество выдерживаемых попаданий ракет, k
Главные силы		
Авианосец	0,005	8
Эсминец	0,007	2
Эсминец	0,007	2
Крейсер	0,01	3
Средняя зона		
Крейсер	0,003	3
Эсминец	0,005	2
Эсминец	0,005	2
Передовой отряд		
Крейсер	0,1	3

Таблица 2. Характеристики кораблей атаки и защиты (вариант 2)

Вид корабля	Вероятность уничтожения ракеты на каждом шаге, р	Количество выдерживаемых попаданий ракет, k
Главные силы		
Авианосец	0,005	8
Крейсер	0,01	3
Средняя зона		
Крейсер	0,003	3
Эсминец	0,005	2
Эсминец	0,005	2
Передовой отряд		
Крейсер	0,1	3
Эсминец	0,007	2
Эсминец	0,007	2

Группы кораблей атакуются крылатыми ракетами следующим образом. Общее количество ракет N распределяется между восьмью кораблями для атаки. Распределение целей производится в начальный момент времени. Ракеты летят тремя волнами. Сначала атакуют ракеты, поражающие корабли передового отряда, затем ракеты, соответствующие кораблям средней зоны, напоследок – кораблям главных сил. Если ракета попадает в зону атаки соответствующего корабля, то с заданной вероятностью на каждом шаге действия алгоритма она может быть уничтожена. Если ракета оказывается в зоне атаки нескольких кораблей, то поочередно проверяется возможность ее поражения в каждой из них. Корабль стреляет за один такт по всем ракетам, оказавшимся в его зоне атаки. Например, в случае установки соответствующих параметров дальности зон атаки кораблей возможно имитировать ситуацию атаки авианосца и его кораблей

окружения на ракеты, находящиеся в других зонах группировки кораблей, однако в рассмотренных вариантах симуляции расстояния между группировками кораблей превосходили радиусы атаки судов.

Если при достижении корабля количество ракет превосходит необходимое для его уничтожения, то оставшиеся ракеты перенацеливаются на другой корабль, находящийся по ходу их движения. Перенацеливание происходит при атаке любых кораблей, кроме авианосца.

В поведении ракет использованы элементы искусственного интеллекта. Во-первых, если ракеты атакуют авианосец, то характеристика его «живучести» сначала уменьшается до нуля, но затем продолжает уменьшаться дальше. На основе этой характеристики алгоритм определяет эффективность проведенной атаки. Это отражает степень повреждения корабля.

Во-вторых, при движении ракете устанавливаются координаты цели, которую она должна поразить, способ движения к цели определяется путем минимизации целевой функции, соответствующей расстоянию на плоскости до цели.

Характеристики модели, которые устанавливались предварительно:

- законы убывания температуры метода имитации отжига;
- параметры вариантов расположения кораблей (радиусы, в пределах которых каждый корабль атакует ракеты; вероятности поражения ракет, попавших в зону атаки каждого корабля; количество попаданий ракет, которые способен выдержать каждый корабль; расстояния кораблей между собой и точкой запуска ракет).

Характеристики модели, которые были вычислены в результате имитации:

- оптимальное начальное распределение ракет по кораблям и группам их скопления при заданном общем количестве используемых ракет;
- для каждого найденного оптимального распределения ракет по кораблям и группам их скопления – вероятность уничтожения авианосца.

МЕТОД ИМИТАЦИИ ОТЖИГА

На рисунке 2 представлена интерполяция значений целевой функции в среде Matlab для $N = 60$, где N – общее число ракет (равно сумме координат вектора целей). Точками на рисунке обозначены значения целевой функции, поверхность построена при помощи метода бигармонической сплайн-интерполяции, использующей осреднение. Поскольку представленные поверхности – сложные объекты с большим количеством максимумов и минимумов, то необходим эффективный метод оптимизации.

Метод имитации отжига относится к наиболее распространенным современным алгоритмам подобного рода. Заключается он в имитации остывания нагретого металла и занятии атомами мест в кристаллической решетке. При

этом атомы располагаются таким образом, чтобы энергия системы была минимальна.

Применяя этот метод к моделированию, получаем следующее. Имеется восьмимерный вектор $[x_1, x_2 \dots x_8]$, где каждая координата обозначает количество ракет, нацеленных в начальный момент времени на соответствующий корабль. Например, x_1 соответствует количеству ракет, нацеленных на авианосец, x_8 – количеству ракет, нацеленных на крейсера передового отряда обоих вариантов расположения. Сначала задается произвольное начальное значение вектора $[x_{01}, x_{02} \dots x_{08}]$. Затем вычисляется целевая функция. В модели в качестве целевой функции используется суммарное количество жизней авианосца после десяти испытаний. Количество жизней авианосца после одного испытания может варьироваться от 8 – когда нет поражения ни одной ракетой – до $(-N)$, где N – суммарное количество атакующих ракет, используемых в испытании (равно сумме координат вектора).

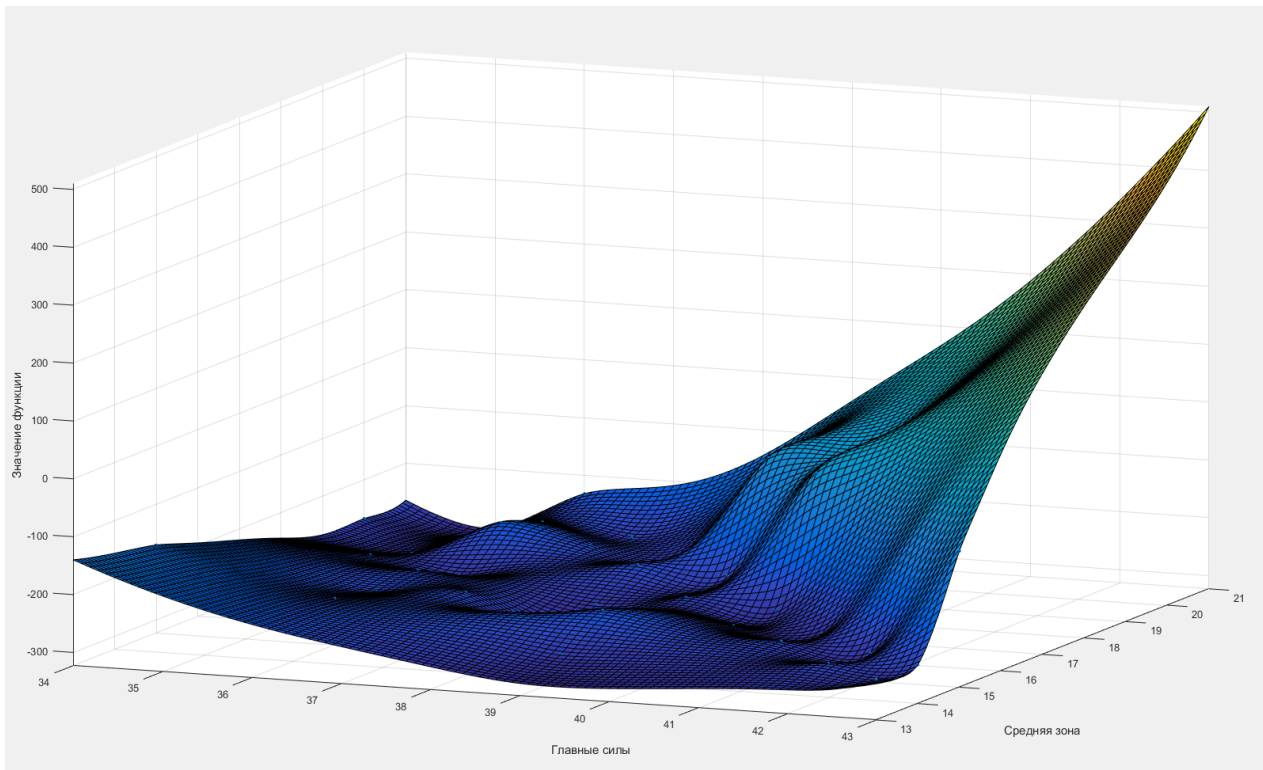


Рис. 2. Результат интерполяции значений целевой функции для $N = 60$, вариант расположения №1

Если при следующей итерации алгоритма значение целевой функции хуже, чем значение на предыдущей итерации, тогда новое значение вектора принимается с вероятностью $P = e^{\frac{-dE}{T}}$, где dE – разница значений целевой функции на текущем и предыдущем шагах, T – температура. По мере увеличения количества шагов итераций температура уменьшается.

Таблица 3. Характеристики функций убывания T

Вариант расположения	Функция убывания T	Начальное значение T	Конечное значение T
№1	$t(n + 1) = 0.98 * t(n)$	10	0,00001
№2	$t(n + 1) = 0.9999 * t(n)$	50	0,00001

График убывания температуры представлен на рисунке 3 для варианта №1. Для варианта №2 он выглядит схожим образом.

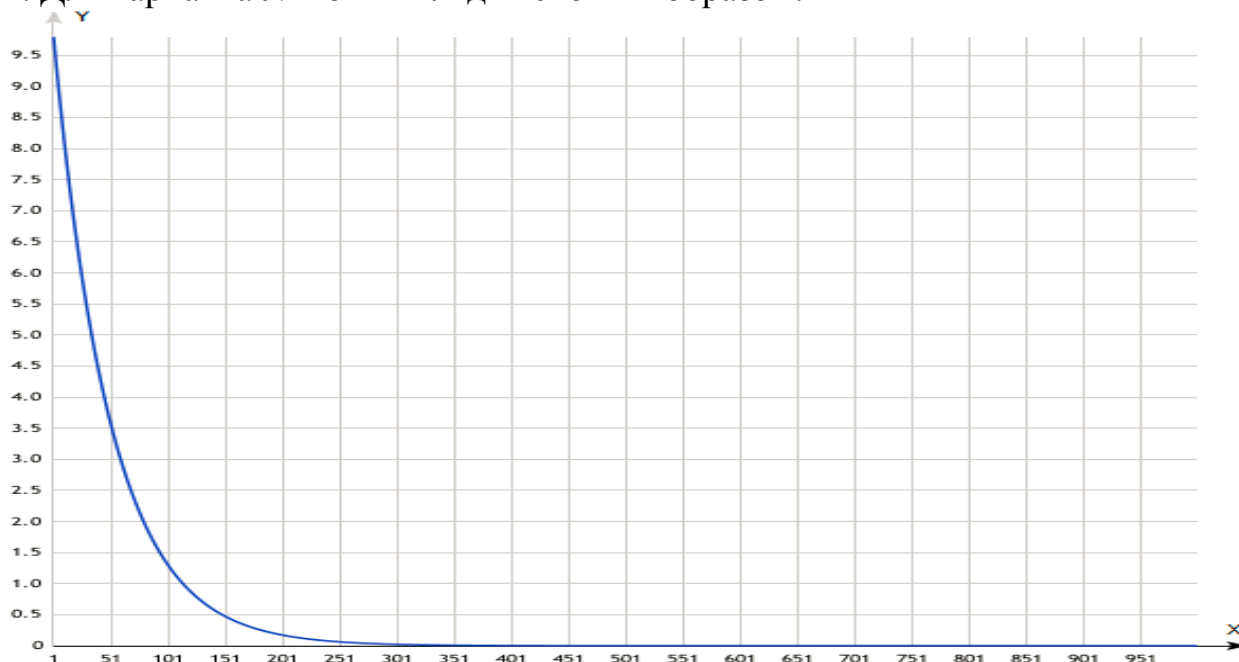


Рис. 3. График убывания температуры метода имитации отжига для варианта №1

При проведении имитационного моделирования для общего количества ракет N в промежутке от 10 до 29 применялось 100 итераций алгоритма отжига, в промежутке от 30 до 59 – 200 итераций, и так далее.

Максимальное значение температуры устанавливалось для максимального общего количества ракет. Далее температура опускалась сквозным образом для всех N.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных расчетов получены зависимости вероятности поражения авианосца от количества используемых ракет (рис. 4 и 7), оптимальное распределение ракет по группам целей в количественном (рис. 6 и 9) и процентном выражениях (рис. 6 и 9). Как уже упоминалось, моделирование производилось для двух геометрий расположения кораблей, поэтому и результаты разделены на два варианта.

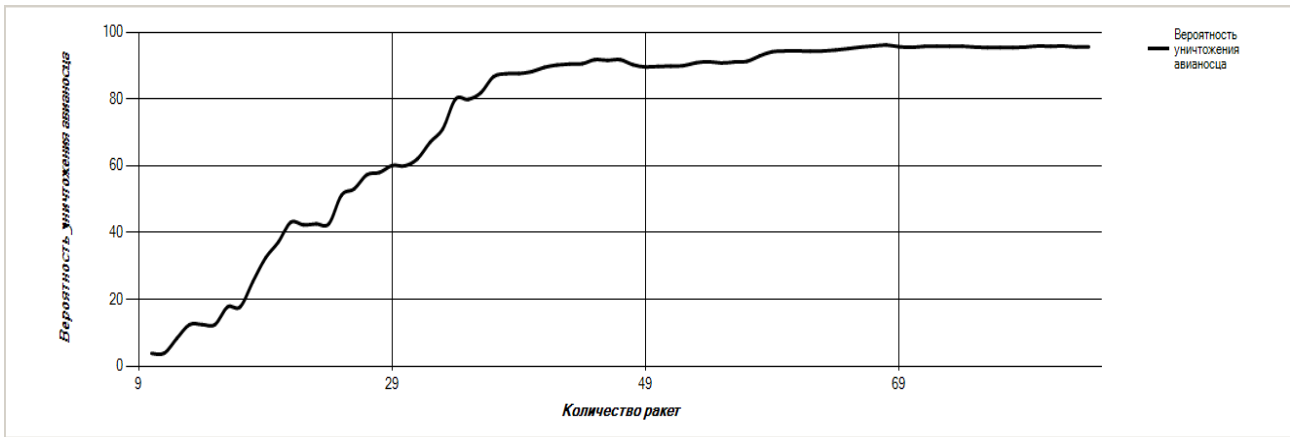


Рис 4. Вероятность уничтожения авианосца для варианта расположения кораблей №1

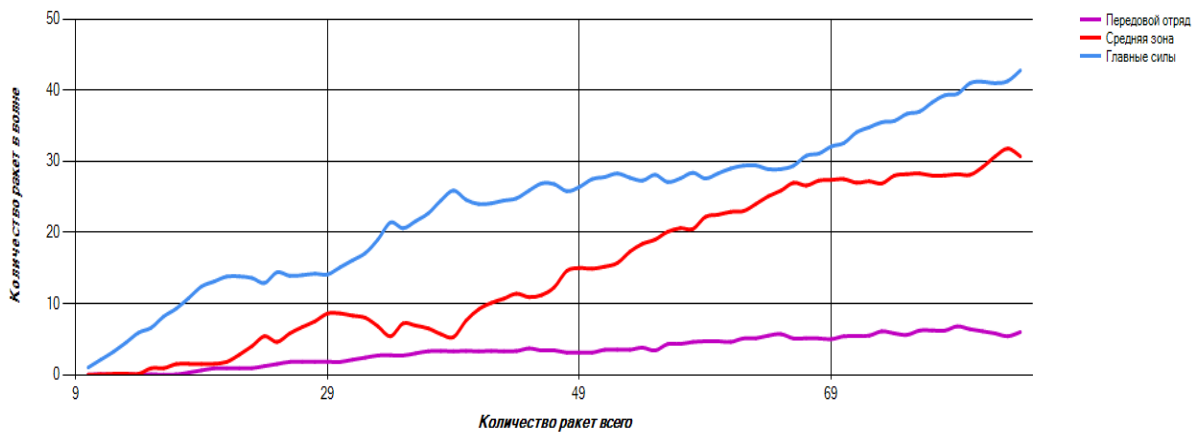


Рис 5. Оптимальное распределение целей ракет в количественном выражении для варианта №1

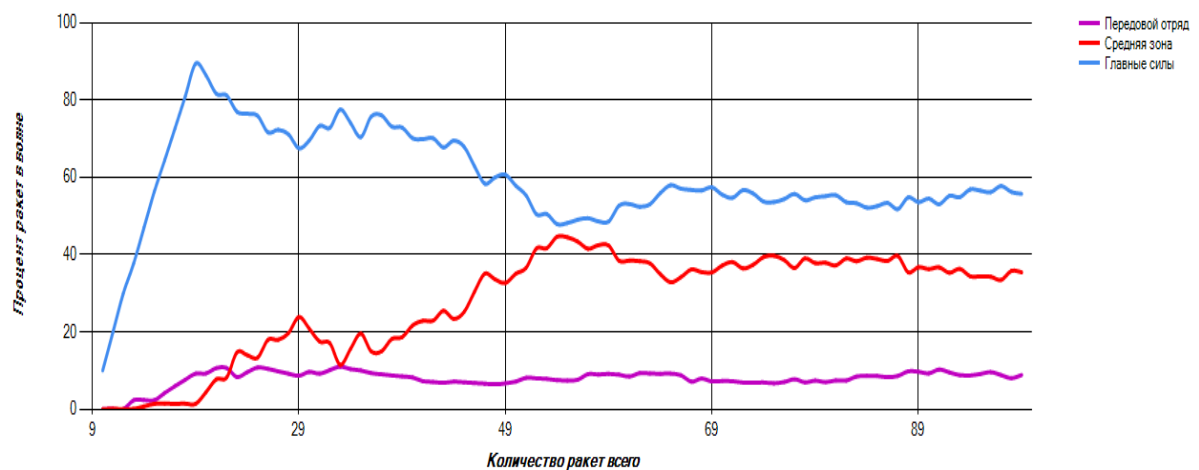


Рис 6. Оптимальное распределение целей ракет в процентном выражении для варианта №1

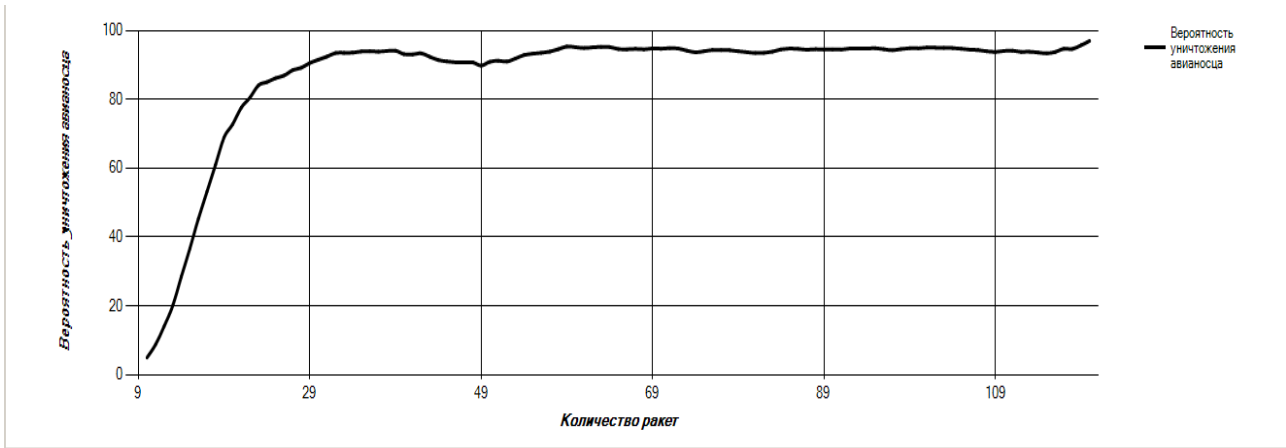


Рис 7. Вероятность уничтожения авианосца для варианта расположения кораблей №2

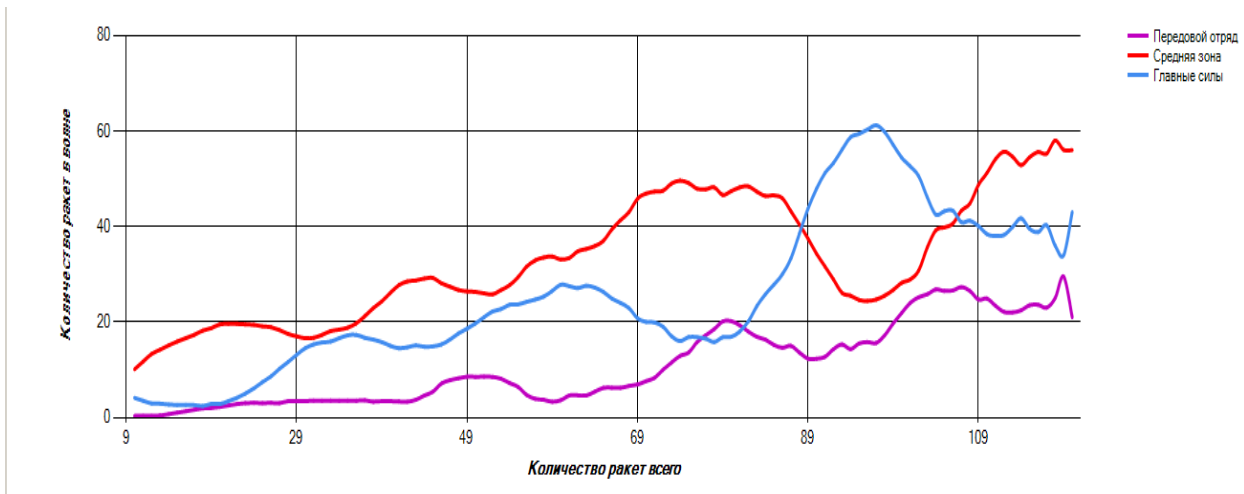


Рис 8. Оптимальное распределение целей ракет в количественном выражении для варианта №2

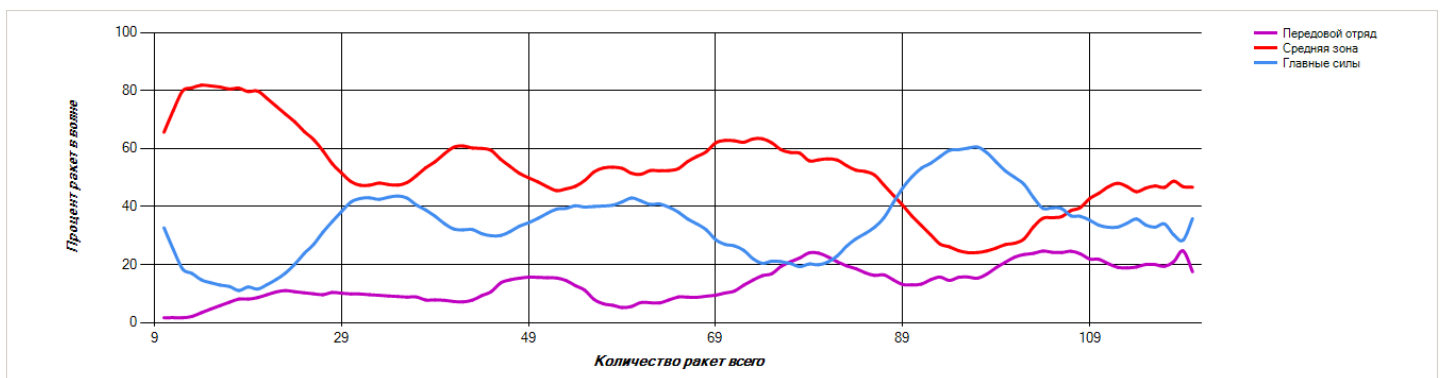


Рис 9. Оптимальное распределение целей ракет в процентном выражении для варианта №2

Используя приведенные на рисунках 4 и 7 графики, можно получить необходимое количество ракет, применяемых в атаке на корабли, если известна требуемая вероятность поражения цели. Далее, зная общее количество ракет, мы из рисунков 5 и 8 получаем число ракет, которые надо нацелить на корабли главных сил, средней зоны и передового отряда.

Сравнивая оба варианта, нельзя не отметить лучшие защитные характеристики расстановки «4 – 3 – 1» по сравнению «2 – 3 – 3». К тому же имеются заметные флуктуации оптимального распределения целей для варианта №2.

При достаточно большом количестве ракет вероятность уничтожения цели стремится к 100 %, однако скорость роста значительно меньше, чем на начальном отрезке симуляции (рис. 10).

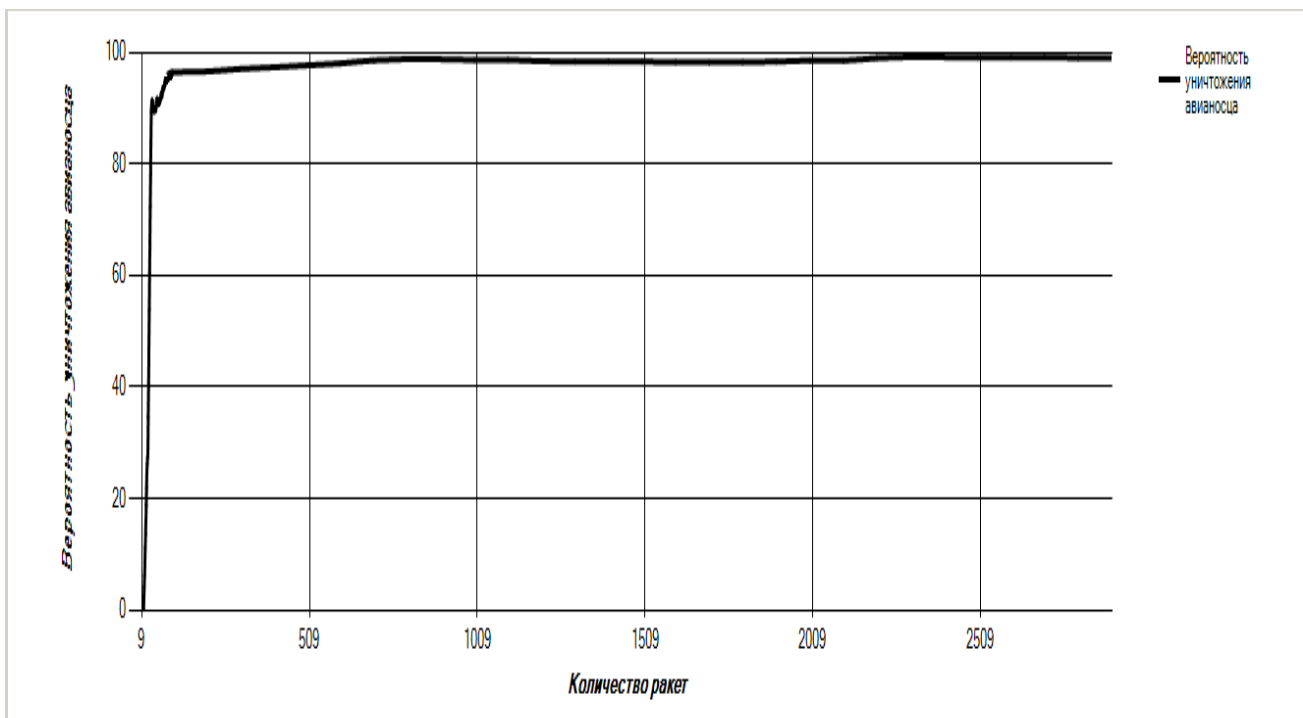


Рис 10. Вероятность поражения авианосца для варианта №1 (большой масштаб)

Выводы

В работе рассмотрена простейшая многоагентная позиционная игра, в которой «фигуры» защищающейся стороны действуют стандартно (рефлекторно), а «фигуры» атакующей стороны имеют элементы искусственного интеллекта, позволяющие организовывать коллективные действия. Показано, что в этом случае для успешной атаки требуется намного меньше ресурсов по сравнению со случаем, когда атакующие «фигуры» действуют независимо. Для наглядности игра интерпретируется как атака авианосца крылатыми ракетами.

Построенная модель позволила найти зависимость вероятности поражения авианосца от общего количества используемых ракет для двух способов

расположения кораблей на поле боя. Кроме того, были построены графики оптимального нацеливания ракет по группам скопления кораблей противника.

На основе полученных результатов возможно определить общее количество необходимых ракет для атаки авианосца с заданной геометрией расположения, после чего найти оптимальный способ их нацеливания на группы скопления кораблей.

Итоги моделирования актуальны при применении не только в военной сфере, но и в случае решения похожих проблем в гражданской области. Примером может быть любая задача распределения заданных ресурсов оптимальным образом по некоторым областям их потребления с условием затрат этих ресурсов при достижении источников их потребления.

Считаем приятным долгом поблагодарить наших коллег А.В. Подлазова и А.А. Кочкарова за плодотворные обсуждения, помощь в постановке задачи и осмыслении результатов ее решения.

Список литературы

1. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
2. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, 280 с.
3. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005, 912 с.
4. Малинецкий Г.Г., Степанцов М.Е. Применение клеточных автоматов для моделирования движения группы людей // ЖВМиМФ. 2004. Т.44, №11, с.2094–2098.
5. Дидыч Я.О., Малинецкий Г.Г. Поиск оптимальных алгоритмов действий противников в игре «Морской бой» // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015. № 98. 16 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-98>
6. Авианосные ударные группы (АУГ) США. URL: <http://www.modernarmy.ru/article/73>
7. В. Бовал. Ударные силы американских ВМС: варианты применения. URL: <http://topwar.ru/14616-udarnye-sily-amerikanskogo-morskogo-flota-varianty-ispolzovaniya.html>
8. Основы боевого применения сил и средств воздушно-космического нападения. URL: http://vii.sfu-kras.ru/images/libs/osnov_boev.pdf
9. Г.А. Кренев. Оружие против авианосцев. URL: <http://coollib.com/b/118605/read>

Содержание

Введение	3
Описание модели	3
Метод имитации отжига	6
Результаты	8
Выводы	11