

УДК 004.94

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ВЗАИМНОГО ПРЕСЛЕДОВАНИЯ С ПРОТИВОДЕЙСТВИЕМ****Никитченко Сергей Николаевич, Минаков Алексей Юрьевич**

Военный учебно-научный центр Военно-Морского флота «Военно-Морская академия им. Н.Г. Кузнецова»  
Ушаковская, наб., 17, Санкт-Петербург, 197045, Россия  
e-mails: serg\_nikitchenko@mail.ru, stalker\_mi@mail.ru

**Аннотация.** В статье описывается модель варианта задачи преследования, в которой два игрока стремятся поразить друг друга снарядами. Игроки имеют полную свободу движения во всех направлениях без ограничений. Снаряды имеют скорости движения, превосходящие скорости игроков. Один из игроков обладает превосходством над другим в дальности обнаружения и, как следствие, упреждающим ударом. Данная ситуация наиболее характерна для подводных лодок, поэтому они условно принимаются в качестве игроков, а в торпеды – в качестве их снарядов. Во избежание поражения ответным ударом траектория снаряда игрока с упреждающим ударом имеет угол на дистанции. Однако второй игрок обладает снарядом, способным наводиться по следу, оставляемому противником и его снарядом при движении в окружающей среде. Чтобы снизить эффективность ответного удара, первый игрок применяет самоходный имитатор. Для распознавания имитатора снаряд второго игрока оснащен всенаправленной системой выявления размеров материальных объектов, например, магнитометрического типа. Таким образом, модель отличается от классических дифференциальных моделей преследования многофакторностью и эвристическими законами управления. Модель, разработанная в интегральной среде Delphi 7, формирует кинематический образ задачи преследования и позволяет осуществлять наблюдение возможных эффектов.

**Ключевые слова:** имитационная модель; взаимное преследование; подводная лодка (ПЛ); торпеда; система самонаведения (СН); ответно-встречные удары; имитатор; магнитометрическая система (ММС); Delphi 7.

**IMITATING MODEL OF THE PROBLEM OF MUTUAL PROSECUTION WITH COUNTERACTION****Nikitchenko Sergey, Minakov Alexey**

Military training and research center of the Navy «Naval Academy named after N. G. Kuznetsov»  
17 Ushakovskaya Emb., St. Petersburg, 197045, Russia  
e-mails: serg\_nikitchenko@mail.ru, stalker\_mi@mail.ru

**Abstract.** In article the model of option of a problem of prosecution in which two players seek to strike each other with shells is described. Players have full freedom of the movement in all directions without restrictions. Shells have the speeds of the movement surpassing speeds of players. One of players has superiority over another in the range of detection and, as a result, pre-emptive strike. This situation is most characteristic of submarines therefore they conditionally are accepted as players, and in torpedoes – as their shells. In order to avoid defeat by retaliation the trajectory of the player with pre-emptive strike has a corner at a distance. However, the second player possesses the shell capable to be directed on the mark left by the opponent and his shell at the movement in the environment. To reduce efficiency of retaliation, the first player uses the self-propelled simulator. For recognition of the simulator the shell of the second player is equipped with the omnidirectional system of identification of the sizes of material objects, for example, magnetometric type. Thus, the model differs from classical differential models of prosecution in a mnogofaktornost and heuristic laws of management. The model developed in the integrated Delphi 7 environment forms a kinematic image of a problem of prosecution and allows to carry out observation of possible effects.

**Keywords:** imitating model; mutual prosecution; submarine (S); torpedo; system of homing (SSN); reciprocal and counter blows; simulator; magnetometric system (MMS); Delphi 7.

Классические дифференциальные задачи преследования сводятся к аналитическому решению, которое заключается в определении области допустимых значений управляющего параметра, удовлетворяющей решению – встрече с объектом-целью или прохождением в его окрестности на расстоянии не более заданного. Как правило, такие задачи представляют собой простое преследование с использованием стратегии погони или параллельного сближения, реализуемые теле- и самонаведением, при условии, что убегающий не реагирует на преследователя [3]. Но иногда аналитическое решение задачи преследования невозможно ввиду усложнения модели и учета большого количества детерминированных и случайных факторов. К такого рода задачам относится конфликтная ситуация, в которой участвуют две стороны, имеющие различные интересы и обладающие возможностями применять для достижения своих целей эвристические правила, самонаводящиеся снаряды и различные действия (уклонение, имитацию). Такие задачи аналитического решения не имеют и могут быть воспроизведены лишь имитационно, возможно, со статистическим расширением.

Рассматриваемая задача взаимного преследования заключается в следующем: два игрока движутся в некотором непрерывном двумерном пространстве с задачей взаимного обнаружения и уничтожения самонаводящимися снарядами. Один из игроков («синий») имеет преимущество в дальности обнаружения другого («красного»), следовательно, может выпустить снаряд раньше. С обнаружением «красного» «синий» игрок применяет снаряд. При этом, наблюдая «красного» игрока, он имеет возможность управлять законом движения своего снаряда, постоянно корректируя его траекторию. Таким образом, снаряд «синего» игрока имеет

возможность двигаться по кривой преследования (погони). Причем снаряд выпускается с определенным маневром, чтобы «красный» игрок, обнаружив снаряд «синего», не имел достоверной информации о реальном положении соперника.

«Красный» игрок обнаруживает выпущенный в него снаряд при его сближении до некоторой дистанции, не имея при этом сведений о реальном положении своего противника. В такой ситуации «красный» игрок не может ответить противнику поражающим ударом. Однако его снаряд обладает способностью наводиться по следам, оставляемым противником и его снарядом при движении в окружающей среде. Таким образом, «красный» игрок имеет возможность реванша путем выпуска своего снаряда по направлению обнаружения снаряда «синего» игрока или в направлении его траектории. Снаряд «красного» игрока, маневрируя сначала вдоль следа снаряда, а затем и следа «синего» игрока, способен «найти» «синего» игрока и начать его преследование. Чтобы снизить эффективность ответного удара, «синий» игрок применяет самоходный имитатор.

Для распознавания имитатора «синего» игрока снаряд красного игрока оснащен всенаправленной системой выявления размеров материальных объектов, например, магнитометрического типа. Преследование обнаруженного объекта будет продолжаться до сближения вплотную и поражения при условии, что этот объект имеет размеры реальной цели. Гипотетически роль распознающей системы играет магнитометрическая система (ММС).

По реалистичным условиям задачи, модельные запасы хода снарядов ограничены некоторыми значениями. Задача преследования для «красного» игрока считается решенной успешной, если его снаряд попадает в «синего» игрока до того, как будет исчерпан запас хода снаряда.

Данная ситуация, действия противников и эвристическое управление сторон наиболее характерны для подводных лодок, поэтому для придания модели реалистичного облика игроки сторон условно являются подводными лодками (ПЛ), а их снаряды – торпедами [2].

Таким образом, разработанная модель гипотетически реализует эпизод боевого столкновения двух противоборствующих подводных лодок с обменом по одному удару (залпу) торпед. Положительный исход стрельбы достигается в случае, когда при достижении преследуемого объекта торпеда идентифицирует истинную ПЛ-цель по сигналам одновременно всех каналов условно комбинированной системы самонаведения (ССН).

Модель реализуется программой, предназначенной для имитации исходной обстановки, развития эпизода, визуального просмотра движения объектов, исхода столкновения и статистической оценки эффективности действий сторон [5].

Модель содержит расчетную и графическую часть [4]. Расчетная часть реализована на основе использования Интегральной Среды Разработок Delphi 7, графическая – с использованием библиотеки OpenGL. Программа представляет собой один исполняемый файл «Argen\_1.exe», размером около 1 Мб.

Результаты решения представляются пользователю в графическом и табличном виде. Исходная обстановка, типы изделий и целей, «принятых при умолчании», отображаются сразу при запуске программы.

Модельная последовательность развития эпизода (вариант) представлена на рисунках 1-6.

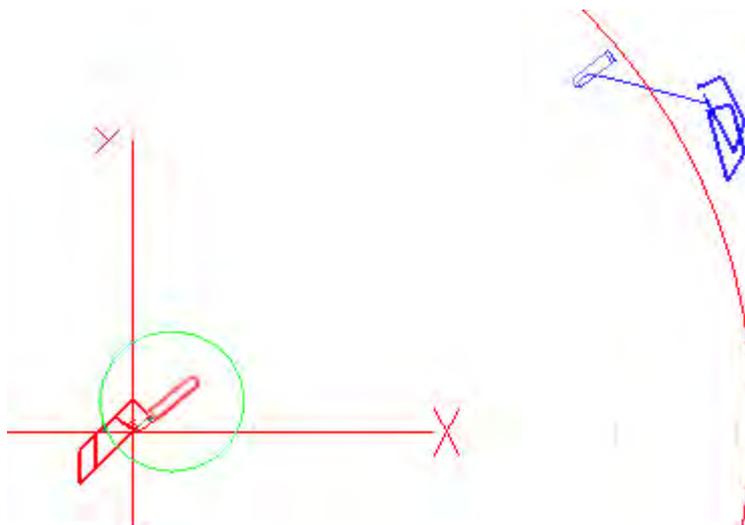


Рис. 1. Начальная стадия эпизода боевого столкновения ПЛ с применением торпед (вариант)

На рис. 1 показана начальная стадия развития эпизода. Синяя ПЛ имеет преимущество в дальности обнаружения и применяет свою торпеду первой. Причем торпеда синей ПЛ выпускается с определенным маневром (изломом траектории) с тем, чтобы не выдать своего местоположения красной ПЛ. Красная ПЛ обнаруживает выпущенную по ней торпеду при ее сближении до некоторой дистанции (показана линией красного цвета). При этом единственным возможным решением красной ПЛ является пуск своей торпеды навстречу торпед противника.

Символы ПЛ даются в начальной и текущей точках трасс (маршрутов), символы торпед – в текущих точках трасс.

Далее на рис. 2 показан этап пересечения торпедой красной ПЛ траектории торпеды противника с ее обнаружением и переходом на наведение вдоль этой траектории к точке залпа.

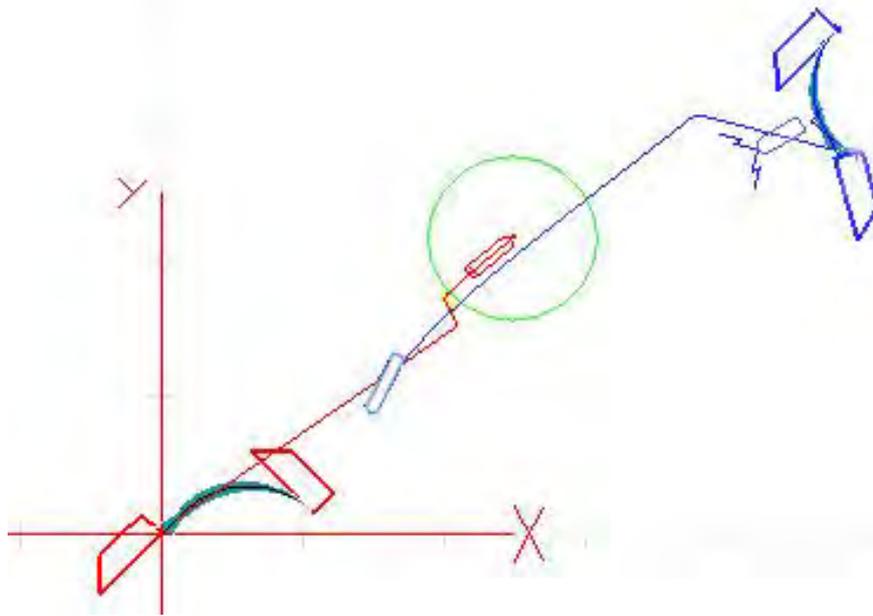


Рис. 2. Этап движения торпеды ответного удара вдоль траектории торпеды противника к точке залпа

Чтобы снизить эффективность ответного удара, синяя ПЛ применяет самоходный имитатор. Для распознавания имитатора торпеда красной ПЛ оснащена всенаправленной системой выявления размеров материальных объектов, гипотетически магнитометрической системой (ММС). Граница области действия ММС показана окружностью зеленого цвета.

Сблизившись с имитатором синей ПЛ на дальность действия ММС, торпеда красной ПЛ распознает ложную цель и продолжает движение к точке залпа торпеды синей ПЛ.

В то же время торпеда синей ПЛ, наводимая с помощью системы теленавещения, достигает своей цели – красной ПЛ (рис. 3).

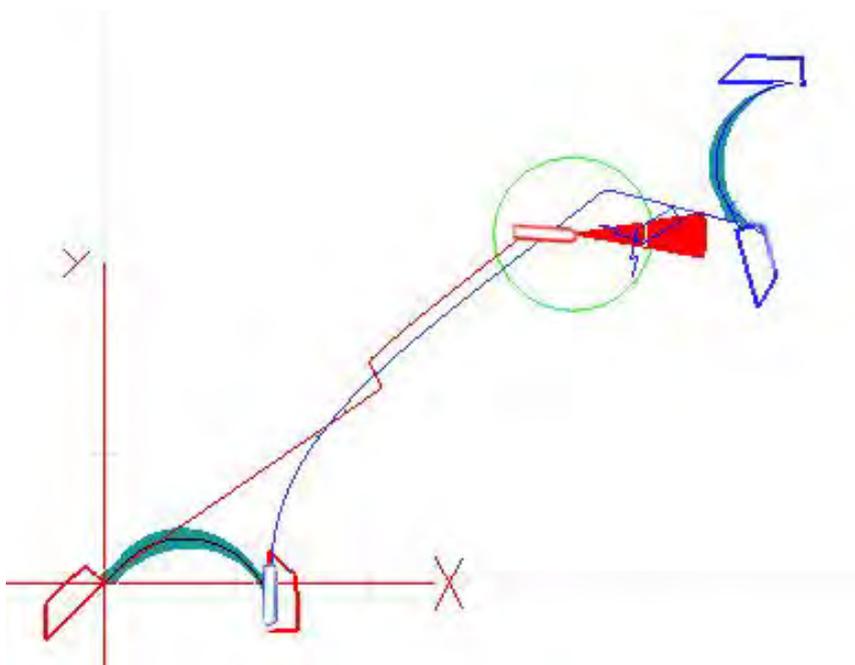


Рис. 3. Этап распознавания торпедой красной ПЛ имитатора синей ПЛ с помощью ММС

Сблизившись с точкой залпа торпеды синей ПЛ, торпеда красной ПЛ обнаруживает след синей ПЛ и преследует ее вдоль этого следа с использованием ССН. Торпеда синей ПЛ, сблизившись с красной ПЛ в режиме теленавещения и идентифицировав ее с помощью ССН, наносит ей поражение (рис. 4).

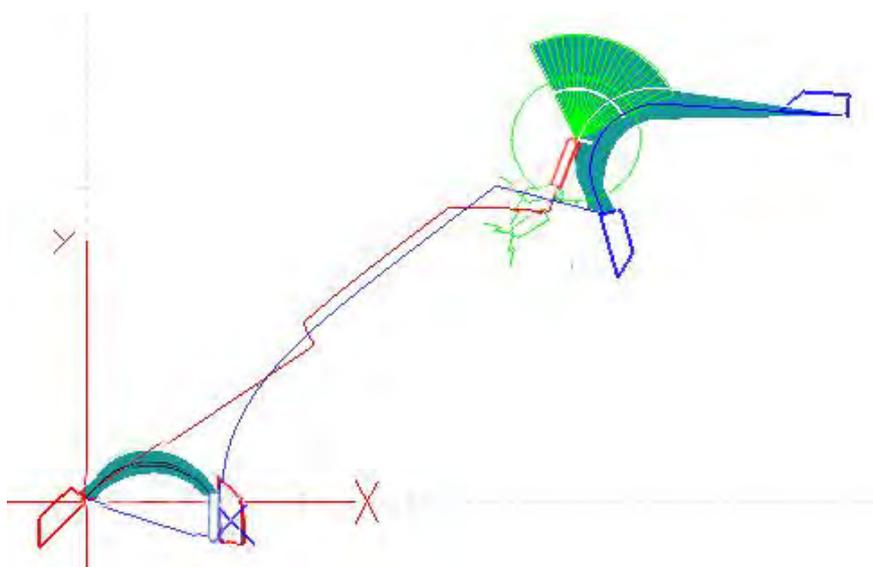


Рис. 4. Этап преследования торпедой красной ПЛ с использованием ССН синей ПЛ вдоль ее следа

Преследование по эвристическим законам управления заканчивается сближением торпеды красной ПЛ с синей ПЛ и ее поражением при условии идентификации истинной ПЛ-цели по сигналам одновременно всех каналов условно комбинированной ССН (рис. 5).

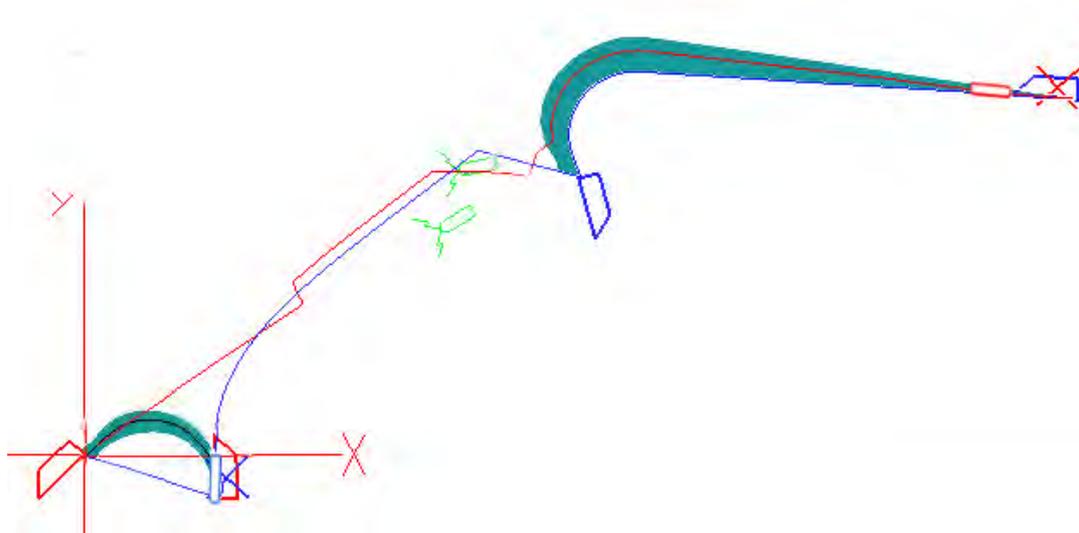


Рис. 5. Итог модельного розыгрыша эпизода: взаимное поражение противоборствующих ПЛ (вариант)

Представленный вариант розыгрыша эпизода специально был сформирован по исходным данным и эвристическим законам управления таким образом, чтобы достигались цели обеих сторон и эпизод был бы наиболее полным.

Следует отметить, что теле- и самонаведение являются стандартными законами управления дифференциальных игр [3]. Разработанная имитационная модель отличается от классических дифференциальных моделей преследования многофакторностью и эвристическими законами управления [1].

Модель позволяет воспроизводить ее в различных масштабах времени – от масштаба реального времени до масштаба времени проведения статистических испытаний в целях оценки эффективности применения торпед и вероятностного исхода эпизода боевого столкновения.

Дальнейшее совершенствование модели и ее исследовательское многократное воспроизведение являются традиционным путем развития и совершенствования теории и методов совершенствования средств и способов вооруженной борьбы с применением современных информационных технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: Учебное пособие.- М.: Издательский дом Дело, 2015. – 513 с.
2. Кузин В.П., Никольский В.И. Военно-Морской Флот СССР. 1945 -1991: монография. – СПб, Историческое морское общество, 1996.
3. Понтрягин Л.С. Линейные дифференциальные игры преследования // Мат. сб. Нов. сер. Т.112, вып.3. – М.:1980. – С.307-330.
4. Поспелов Д.А. Когнитивная графика - окно в новый мир. // Программные продукты и системы. 1992. с. 4-6.
5. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М., 1978.