

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ВЗАИМНОГО ПРЕСЛЕДОВАНИЯ**А.А. Бассауэр, В.И. Поленин (Санкт-Петербург)**

Одной из основных проблем выбора наилучшего варианта действий в задачах теории игр, связанных с моделированием конфликтных ситуаций, в процессе социального, экономического или вооруженного противоборства, является их постановка и решение как задачи оптимизации. Для решения задач, в которых конфликту можно придать аналитическую численную форму, имеется хорошо развитый математический аппарат дискретных и непрерывных цепей Маркова, матричных и дифференциальных игр. Постановка таких задач связана с абстрагирующим выбором ограниченного числа факторов обстановки и управлений, благодаря чему удается получить решение задач в минимаксной или иной экстремальной форме, в виде конкретных значений или интервалов значений управляющих параметров. Множество примеров таких задач содержится в руководствах по теории игр и исследования операций, например, [2, 8].

Вместе с тем, задачи принятия решений в практической деятельности, связанной с реальными многоаспектными и многофакторными конфликтными ситуациями, которые относятся к классу слабо структурированных и плохо формализуемых процессов в социотехнических системах, могут и должны решаться только в результате мыслительной деятельности, поддерживаемой анализом виртуального образа реальной действительности, создаваемого визуализированным имитационным статистическим моделированием [5, 6].

К числу такого рода задач относятся, прежде всего, тактические задачи противоборства, в которых последовательно и одновременно действуют факторы и процессы поиска, обнаружения и классификации, имитации и подавления, целеуказания и наведения, преследования и уклонения, поражения и защиты. Здесь не может быть и речи об отыскании минимаксного или иного экстремального решения. Наилучшей поддержкой лицу, принимающему решения (ЛПР), здесь может служить лишь визуализированная имитационная статистическая модель, путем обзора, изучения и анализа которой, с мысленной фиксацией доступных лишь интеллекту закономерностей, ЛПР способен принимать целесообразные решения. В силу познавательной роли таких моделей их принято называть когнитивными.

Наилучшим современным средством построения и анализа такого рода моделей в настоящее время является система AnyLogic [3, 7]. Эта система поддерживает метод агентного моделирования и позволяет эффективно комбинировать этот метод системной динамикой и дискретно-событийным моделированием, т.е. реализовать так называемое многоподходное имитационное моделирование.

Рассматриваемая ниже задача относится к классу игровых динамических задач преследования. В отличие от известных задач преследования, которые сводятся к аналитическому решению, имеет место задача взаимного преследования, в которой преследующий и убегающий используют программные стратегии, которые исключают возможность получения аналитического решения. Иначе говоря, рассматривается конфликтная ситуация, в которой стороны, имеющие различные, но не противоположные, интересы, обладают возможностью применять для достижения своих целей различные действия.

Задача взаимного преследования визуально является кинематической и 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 свой снаряд. При этом, наблюдая «красного», он имеет возможность управлять своим снарядом, постоянно корректируя его траекторию. Таким образом, снаряд «синего» игрока имеет возможность двигаться по кривой погони. Причем снаряд выпускается с определенным маневром введения в заблуждение, чтобы «красный» игрок, обнаружив снаряд «синего», не имел достоверной информации о реальном положении и движении соперника. Что чрезвычайно важно, это

принципиальное отличие от классических задач взаимного маневрирования, в которых известны закономерности движения сторон.

«Красный» обнаруживает выпущенный в него снаряд при его сближении до некоторой дистанции, не имея при этом пригодной гипотезы о вероятном нахождении своего противника. В такой ситуации «красный» игрок не может ответить противнику поражающим ударом. Однако в модели используется гипотетическое свойство, согласно которому игроки и их снаряды, двигаясь в пространстве, на некоторое время оставляют след, вызванный возмущением окружающей среды. Таким образом, снаряд «красного» игрока имеет возможность обнаружения границы такого следа. Гипотетически, маневрируя сначала вдоль границы следа снаряда, а затем и следа «синего» игрока, снаряд «красного» игрока способен «найти» «синего» игрока и начать его преследование. Для обеспечения реалистичности условий задачи, запасы хода снарядов ограничены некоторыми значениями. Задача преследования для «красного» игрока считается успешной, если его снаряд достигнет «синего» игрока до того, как будет исчерпан запас хода снаряда. Так как направление движения «синего» не известна, «красный» игрок запускает два снаряда одновременно и направляет их по разным сторонам следа снаряда противника.

Таким образом, модель отражает собой универсальную гипотетическую дуэль с расширенными возможностями противоборствующих тактических единиц и их средств поражения по обнаружению, классификации противника и его средств поражения, преследованию противника по следу траектории, самонаведения при обнаружении и поражения с преодолением защитного противодействия.

Модель реализована методом многоподходного имитационного моделирования путем сочетания агентного подхода в сочетании с методами системной динамики и дискретно-событийного моделирования [3, 7]. Исходные данные перед запуском модели вводятся на странице настройки эксперимента. Интерфейс панели вола исходных данных представлен на рисунке 1.

Модель задачи взаимного преследования с наведением по следу

Исходные данные:

"Красный" игрок

Начальная скорость	6	м/с
Скорость при уклонении от снаряда	15	м/с
Радиус циркуляции	200.0	м
Дистанция обнаружения "синего" игрока	8000.0	м
Дистанция обнаружения снаряда "синего" игрока	3000.0	м
Время реакции при обнаружении снаряда	3	сек

Снаряд "красного" игрока

Скорость	30	м/с
Энергетическая дальность хода	40000.0	м
Радиус циркуляции	50.0	м
Дистанция перехода на кривую погони	500.0	м

"Синий" игрок

Направление появления: 0 град

случайное

Начальная скорость	10	м/с
Дистанция обнаружения "красного" игрока	15000.0	м
Дистанция обнаружения снаряда "красного" игрока	3000.0	м
Скорость при уклонении от снаряда	15	м/с
Время реакции при обнаружении снаряда	5	сек
Радиус циркуляции	200.0	м
Время опр. стор. движения "красного" игрока	30	сек
Время опр. направл и скор. "красного" игрока	30	сек

Параметры распространения следа "синего игрока":

начальное значение	200.0	м
приращение в единицу времени	0.35	м/с

Снаряд "синего" игрока

Скорость	30	м/с
Время движения на курсе "Отведения"	100.0	сек
Энергетическая дальность хода	40000.0	м
Радиус циркуляции	50.0	м
Дистанция перехода на кривую погони	2000.0	м

Параметры кильватерного следа снаряда:

начальное значение	40.0	м
приращение в единицу времени	0.35	м/с

Масштаб отображения: 1.0

Запустить

Прогон: 0 Готов | Время: - | Прогон: Время остановки не задано | Дата: - | Память: 24М из 1,024М

Рис. 1. Интерфейс панели ввода исходных данных

Краткая характеристика функционирования модели является следующей. В начале розыгрыша «красный» игрок всегда находится в центре поля (рис.2). «Синий» игрок находится от «красного» игрока на дистанции, превышающей дальность его обнаружения (синяя окружность).

Направление движения «синего» игрока либо является случайной величиной, распределенной по заданному закону, либо задается вручную.

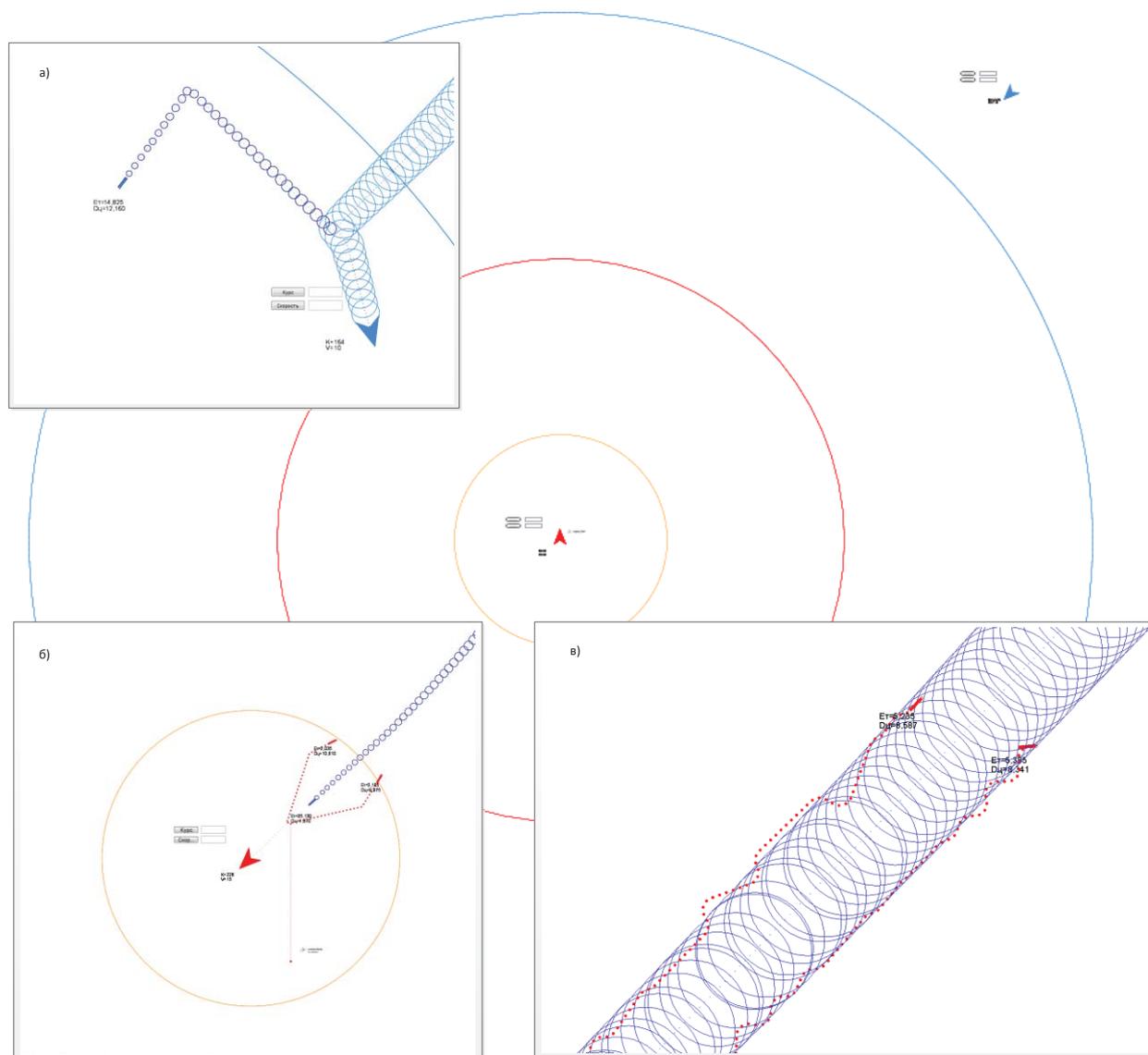


Рис. 2. Начальное положение и первичное маневрирование

Одиночные окружности отражают зоны обнаружения игроками своего противника, серии окружностей по траекториям – следоподобные полосы. С началом розыгрыша «синий» игрок движется в секторе сближения с «красным», а с его обнаружением и классификацией, выпускает свой снаряд. Снаряд движется по траектории, исключающей выявление «красным» игроком направления на «синего» игрока (рис. 2а). В это время «синий» игрок маневрирует таким образом, чтобы поддерживать контакт с «красным» и при этом избежать взаимного обнаружения, то есть сохраняя позицию в кольце между окружностями. С обнаружением снаряда «синего», «красный» выпускает навстречу ему два своих снаряда, чтобы они гарантированно обнаружили его след с разных кромок (рис. 2б) и в дальнейшем двигались вдоль них, каждый со своей стороны (рис. 2в).

Дойдя до точки старта, один из снарядов «красного», следуя по разветвляющемуся траекторному следу, совершив правильный переходе кромки следа вражеского снаряда на кромку следа «синего» игрока, гарантированно преследует противника. При достаточном запасе траекторной дальности он догоняет и поражает противника. При этом задача считается успешно решенной для «красного» игрока.

Таким образом, «красным» игроком решается задача поиска и преследования противника в условиях изначального проигрыша в дальности обнаружения, отсутствия информации о месте положения противника и характере (параметрах) его движения. Со стороны «синего» игрока, в силу его превосходства в дальности первичного обнаружения, задача обнаружения и поражения противника является более простой, осложняясь только за счет применения «красным» игроком средств подавления и имитации.

Рассматриваемая задача дуэльного типа и взаимного преследования относится к задачам с двойными (геометрическим и интегральным) ограничениями на управление. С помощью геометрических ограничений учтены пространственные и конструктивные особенности управляемых объектов (игроков и их снарядов): это скорости, радиусы поворотов, дальности обнаружения и др. Интегральные ограничения определяют условия об ограниченности запаса хода снаряда, частоты измерения параметров движения и характеристик среды.

При разработке модели реализован объектно-ориентированный подход с применением языка Java. Игроки и их снаряды являются агентами, являющимися дочерними классами одного базового класса. Базовый класс обладает общими для всех дочерних классов свойствами: параметрами, переменными, диаграммами и другими элементами управления. Эти свойства отвечают за общий для всех агентов модели аспект – движение. При движении все объекты представляются материальными точками, которые в зависимости от управляющего воздействия могут двигаться прямолинейно или циркулировать, равномерно или с ускорением (замедлением). Их траектория строится из простейших участков, в границах которых реализуется определенный тип движения.

На рисунке 4 приведен модуль, реализующий вычисление координат движущихся объектов в каждой точке траектории. Модуль представляет собой систему дифференциальных уравнений, построенных с использованием библиотеки системной динамики AnyLogic. Смена типа движения осуществляется двумя диаграммами действий, которые также содержатся в базовом классе: `headingState` (управление курсом) и `speedingState` (управление скоростью).

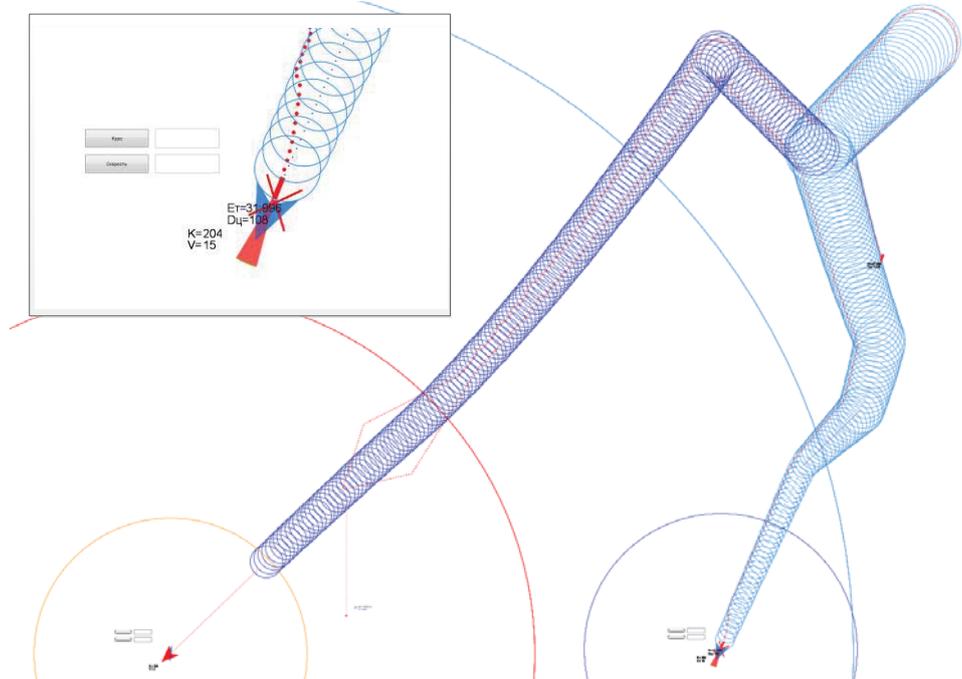


Рис. 3. Поражение «синего» игрока

Изначально в отсутствие управляющего воздействия диаграммы находятся в исходных состояниях, что соответствует либо прямолинейному (`straight`) равномерному (`constant`) движению, либо нахождению в покое. Как только поступает команда на установление новой скорости или направления движения, происходит выход из начального состояния и смена типа движения.

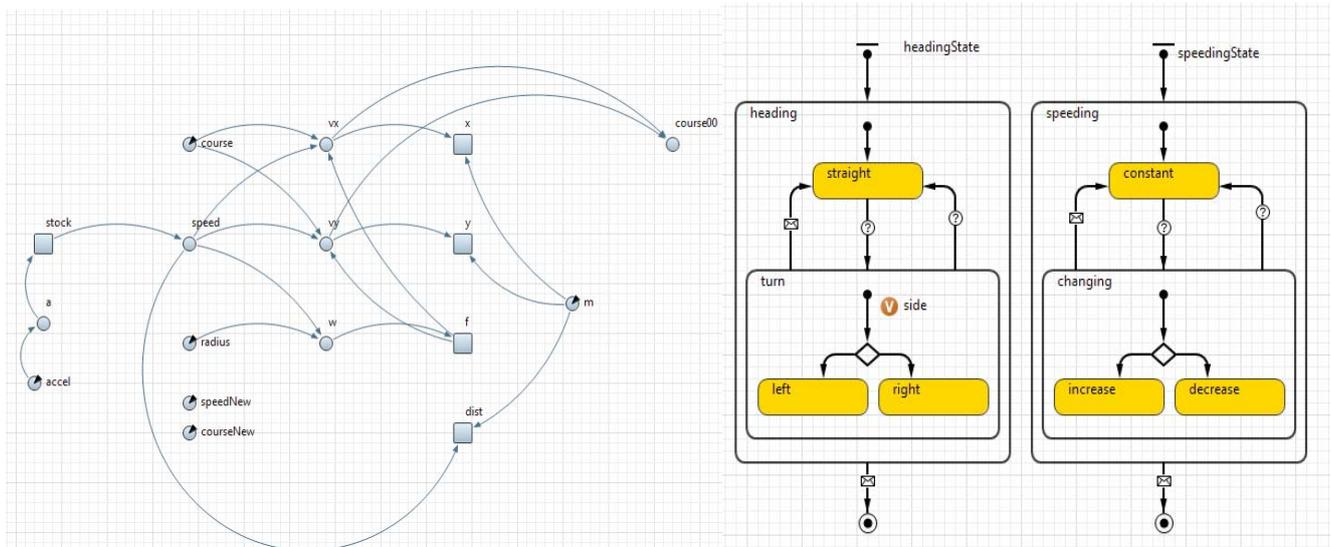


Рис.4. Система дифференциальных уравнений движения и диаграммы управления направлением и скоростью движения игрокови ихснарядов

Управляющим модулем каждого агента являются диаграммы `mainOperatingState` (рис.5). Эти диаграммы уникальны для каждого агента, не наследуются от базового класса, и, по сути, являются поведенческими моделями игроков и их снарядов, определяющими логику их взаимодействия. Необходимо отметить, что след, который создают игроки и их снаряды, также является агентом, обладающим своей поведенческой моделью.

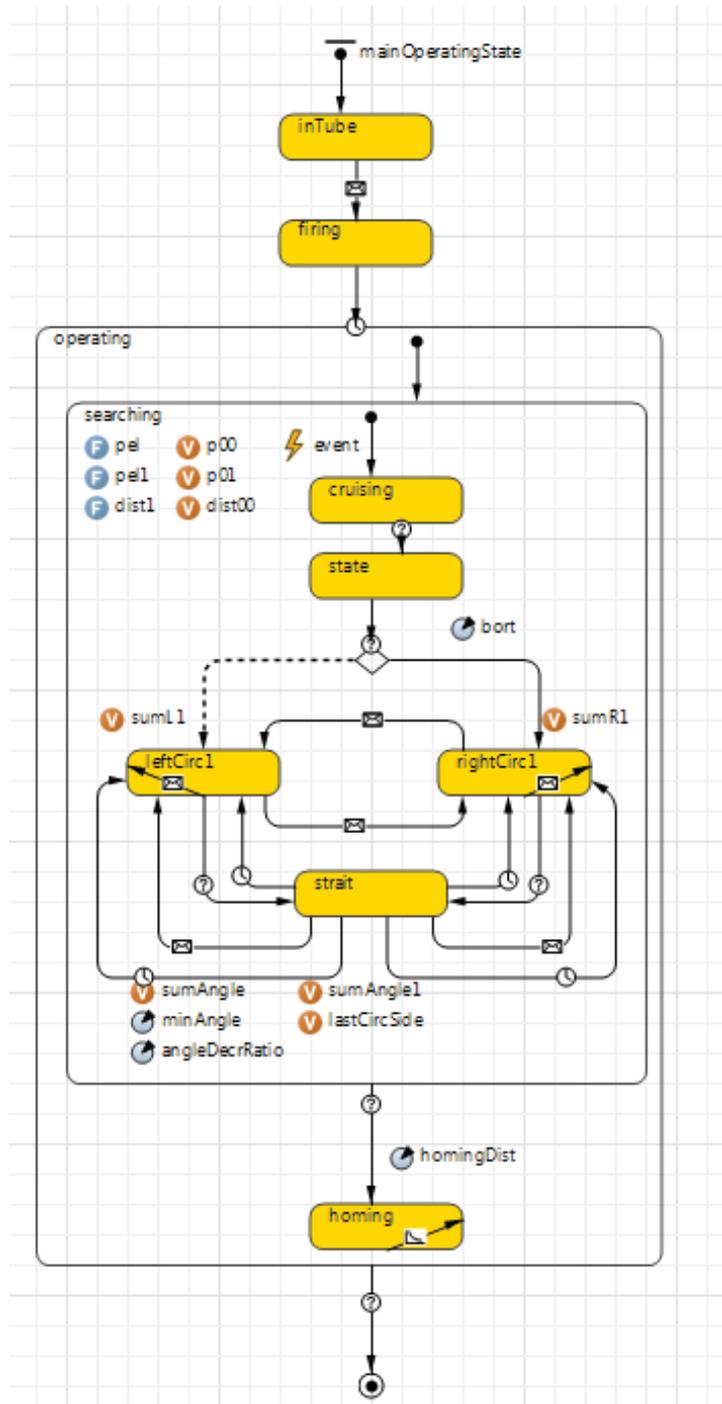


Рис. 5. Поведенческая модель снаряда «красного» игрока

Представленная имитационная модель позволяет оценить целый ряд критериальных показателей, таких как вероятности различных исходов, математические ожидания значений анализируемых параметров, например, достаточных траекторных дальностей, моментов времени наступления критических событий.

Когнитивность модели позволяет понять роль различных факторов в исходах дуэли, например, исходных позиций, степени превосходства в дальностях первичного обнаружения, скоростей объектов и их снарядов, а также «уловить» целесообразный характер поведения, прежде всего маневрирования, сторон. Также с помощью данной модели может быть обоснована и оптимизирована логика работы управляющего контура объектов, выступающих в качестве игроков и снарядов в данной задаче.

Обзор литературы по имитационному моделированию показал, что рассмотренная модель по свойству когнитивности, поведенческой и параметрической сложности, уровню программной реализации и прагматичной универсальности аналогов и прототипа не имеет.

Литература

1. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. – М.: «Сов. Радио», 1977. 336 с.
2. Айзекс Р. Дифференциальные игры. - М.: Мир, 1967. – 479 с.
3. Боев В. Д., Кирик Д. И., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
4. Вентцель Е.С. Основы теории боевой эффективности и исследования операций / Е.С. Вентцель, Я.М. Лихтеров, Ю.Г. Мильграм, И.В. Худяков // Военно-воздушная инженерная академия им. Н.Е. Жуковского. – ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1961. – 523 с.
5. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: Учебное пособие.- М.: Издательский дом Дело, 2015. – 513 с.
6. Петухов, О.А. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое: учеб, пособие / О.А. Петухов, А.В. Морозов, Е.О. Петухова. - 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 288 с.
7. Сайт компании «The AnyLogic Company», ООО «Компания ЭниЛоджик». – www.anylogic.ru.
8. Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. // А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Физматлит, 2005. – 320 с.
9. Скворцов М.И., Юхов И.В., Землянов Б.И., Абчук В.А., Мрыкин О.А. Основы маневрирования кораблей. – М.: Воениздат МО, 1966. – 270 с.