

**Д.В. Вавилов, К.А. Дворников**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА СТЕНДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ВООРУЖЕНИЯ**

*Вавилов Дмитрий Викторович, главный инженер – директор по информационным технологиям ОАО «ЦНИИ «Курс». [e-mail: vdv@kysr.ru].*

*Дворников Кирилл Александрович, начальник отдела ОАО «ЦНИИ «Курс». [e-mail: dvornikov@kysr.ru].*

### Аннотация

В статье рассмотрены проблемы, возникающие при проведении оценки эффективности применения различных радиоэлектронных средств и радиоэлектронного вооружения при ведении вооруженной борьбы на морском театре военных действий путем проведения математического моделирования.

Ключевые слова: математическое моделирование, радиоэлектронные средства, оценка эффективности, стенд моделирования.

Боеспособность флота определяется не только количеством кораблей, но и применяемым вооружением на этих кораблях. При проектировании кораблей, а также образцов радиоэлектронного вооружения (РЭВ) возникает задача оценки эффективности разрабатываемых изделий, а также динамики показателей эффективности в зависимости от изменения технических характеристик применяемых радиоэлектронных средств.

Одним из подходов к решению задачи оценки эффективности является проведение имитационного моделирования. Как и большинство понятий общего характера, используемых в прикладной математике, термин «имитация» имеет несколько трактовок. Впервые он возник в теории вероятностей и математической статистике, где обозначал способ приближенного вычисления характеристик сложных случайных процессов. Этот способ заключался в многократном воспроизведении реализаций процесса с помощью его модели и обработки полученных результатов. После того как методы прикладной математики стали использоваться в управлении экономикой, планировании, исследовании операций, проектировании, термин «имитация» приобрел другой смысл, не совпадающий с его первоначальной трактовкой. Этим термином стали обозначать способ выбора рационального управления сложным процессом (рациональный план, рациональная конструкция проектируемого изделия) путем воспроизведения его течения (функционирование проектируемого изделия) с помощью математической модели и сравнения полученных таким образом результатов [1].

Две указанные трактовки термина «имитация», несмотря на их внешнее различие, во многих случаях совпадают, поскольку сложные управляемые процессы, как правило, случайны. Для сравнения вариантов управлений необходимо многократно воспроизводить реализации процесса и проводить статистическую обработку получаемых результатов, то есть выполнять то, что в теории вероятности и математической статистике обозначается словом «имитация». Тем не менее, в области управления, планирования, проектирования, исследования операций под словом «имитация» допустимо понимать не способ вычисления характеристик случайных процессов путем набора статистики, а то, что варианты управлений, планов, конструкций проектируемого объекта задаются извне модели. Положительным моментом в имитационном моделировании является возможность наблюдения за процессом развития моделируемой ситуации и возможность управления ходом моделирования (остановка, повторный запуск, ускорение / замедление). Еще одной положительной стороной использования имитационного моделирования является возможность ведения истории состояний моделируемых объектов в каждый момент времени, поскольку при таком подходе происходит имитация реальных процессов и объектов.

Термин «имитационная модель», в свою очередь, применяется в отношении математических моделей, которые предназначены для исследования в режиме имитации, то есть для сравнения планов (конструкций, управлений) путем вариантов просчетов.

Выбор математического метода и применяемого аппарата моделирования осуществляется исходя из характера исследуемого объекта и содержания результатов, которые требовалось получить. В качестве объекта исследования рассматривался комплекс взаимосвязанных физических и информационных процессов, присущих вооруженной борьбе на море, в интересах оценки эффективности применения сил (войск) ВМФ в различных условиях обстановки. В качестве результатов моделирования предполагалось получить воспроизведение хода моделируемых процессов во времени и пространстве с возможностью вмешательства в ход моделирования, а также численные значения расчетных показателей эффективности, принятых при ведении операций (боевых действий) флота.

Задача исследовательского моделирования вооруженной борьбы на море представляет классическую задачу анализа, решение которой реализовано путем создания семейства моделей, воспроизводящих процессы вооруженной борьбы в пространстве и времени с заданной степенью детализации. В практике математического моделирования для описания этих процессов используются статистические и аналитические методы [2].

Для решения задачи оценки вариантов применения различного РЭВ в ОАО «ЦНИИ «Курс» создан распределенный комплекс имитационного моделирования функционирования корабля. Данный комплекс применяется при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при необходимости проведения сравнительной оценки вариантов использования различного РЭВ на кораблях. Данный стенд в настоящее время использует имитационные модели, и моделирование проводится на тактическом уровне.

Однако при построении комплексной системы моделирования возникает задача применения различных методов моделирования и обеспечения их взаимодействия.

Рассмотрим задачу моделирования применения корабля в условиях боевых действий.

Прямая задача: оценка показателя эффективности  $W$  при заданных условиях.

Обратная задача: определение условий, при которых показатель эффективности  $W$  обратится в максимум.

Для решения различных задач моделирование производится на различных уровнях в зависимости от конкретной задачи.

Так описательные модели военных действий основываются на методах теории вероятностей и статистической теории решений (принятие решений в условиях «природной» неопределенности), теории надежности и теории массового обслуживания, теории экспертных оценок. К описательным моделям можно отнести и качественный анализ соответствующих динамических систем, исследование их структурной устойчивости.

Для изучения поведения конкретного образца вооружения используется моделирование на техническом уровне. На данном уровне производится моделирование системы и ее компонентов. Для изучения поведения объекта (боевой единицы) в условиях ведения боевых действий проводится моделирование на тактическом уровне, то есть отрабатывается тактика применения. При проведении моделирования на стратегическом и оперативном уровнях исследуется поведение уже не отдельного аппарата, а группировки в целом.

В таблице указаны уровни модели и аппарат моделирования на различных уровнях.

Таблица

Уровни моделирования стенда «Виртуальный корабль»

Уровень модели	Масштаб	Аппарат моделирования
Стратегический и оперативный	Группировки и объекты	Оптимальное управление
Тактический	АНПА	Имитационные модели
Технический	Система и ее компоненты	Дифференциальные уравнения

Моделирование систем корабля и отдельных компонентов производится с помощью аппарата дифференциальных уравнений.

Математическая модель корабля включает модели динамики и кинематики, модели исполнительных механизмов, навигационной системы и управляющих воздействий, например уравнение движения корабля в проекциях на оси связанной системы  $K$ :

$$m \left( \ddot{\bar{V}}_O + \dot{\bar{\omega}} \cdot \bar{r}_T + \bar{\omega} \cdot \bar{V}_O + [\bar{\omega} \cdot (\bar{\omega} \cdot \bar{r}_T)] \right) = \bar{F}.$$

На тактическом уровне используется метод имитационного моделирования с постановкой боевых задач и указанием объектов тактической обстановки. При имитационном моделировании рассматриваемая система заменяется ее математическим описанием с определенным уровнем детализации.

На оперативном уровне необходимо обратить показатель эффективности в максимум. Одним из подходов к решению данной задачи является вариативный перебор входных параметров модели для определения оптимальных.

Для решения данной задачи в системе задания исходных данных указывается перечень изменяемых показателей и законы, по которым изменяются данные показатели, после чего осуществляется моделирование и проводится анализ результатов.

При возникновении необходимости изменения нескольких параметров появляется проблема больших вычислительных затрат, которая влечет за собой необходимость увеличения вычислительных ресурсов. Одним из подходов к решению этой проблемы является применение распределенных компьютерных систем, например кластеров.

Кластер – объединенная высокоскоростными каналами связи группа компьютеров, представляющая, с точки зрения пользователя (разработчика системы моделирования), единый вычислительный ресурс. Использование кластера очень удобно, поскольку, с одной стороны (с точки зрения программирования), он представляет собой единую систему с большими вычислительными ресурсами, с другой стороны, эта система довольно легко может быть расширена при необходимости увеличения вычислительных мощностей. Однако наращивание кластера все равно не дает бесконечного ускорения, поскольку большой вклад вносят накладные расходы, связанные с пересылкой данных и синхронизацией, что продемонстрировано на рисунке.

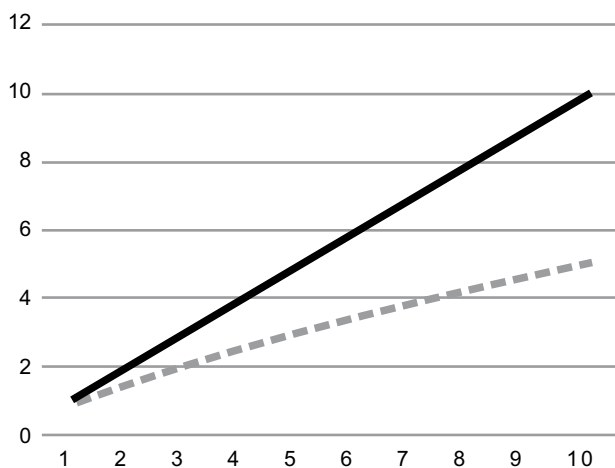


Рисунок. Рост накладных расходов по сравнению с вычислительной мощностью при расширении кластера

Каждый из описанных выше методов моделирования имеет как преимущества, так и недостатки. Для преодоления этих недостатков необходимо использовать преимущества модели другого уровня, для чего следует разработать такой модуль взаимодействия между моделями, который будет обеспечивать автоматическое переключение между моделями, когда это необходимо.

## Заключение

Необходимость использования различных методов моделирования определяется сложными задачами, которые решаются на стендах моделирования морского радиоэлектронного оборудования. Применение многоуровневого моделирования с использованием различных методов, с обеспечением корректного перехода между уровнями позволит более широко применять стенды моделирования морских систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М. : Мир, 1978.
2. Исследовательское имитационное моделирование в решении проблем развития системы морских вооружений и ее подводной составляющей; [под ред. В.Т. Томашевского]. – СПб. : Наука, 2008.
3. Илларионов А.В., Дворников К.А. Применение моделирующих комплексов для оценки эффективности контура ПВО корабля. Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. – М., 2013.