

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ООУЖЕНИЯ И ООЕННОЙ ТЕХНИКИ  
ООЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА**

**А.Г. Крылов, В.Б. Шуневич, С.Ю. Батвиннин (Санкт-Петербург)**

Изучение эксплуатации ВВТ ВМФ, как и большинства сложных организационно–технических систем, целесообразно проводить на ее модели, что связано со значительными ресурсными (прежде всего финансовыми) и временными затратами. Моделирование эксплуатации ВВТ ВМФ может выполняться с применением различных видов моделей (физические, информационные, символьные), но наибольшей универсальностью и гибкостью обладают символьные (математические) модели.

Решение многих математических моделей эксплуатации ВВТ ВМФ аналитическими методами невозможно. Это связано со структурной сложностью и большой размерностью объекта моделирования, наличием стохастических параметров и вероятностного поведения вследствие воздействия внешних факторов. Поэтому для получения решения математических моделей эксплуатации ВВТ ВМФ прибегают к численным методам. Одним из вариантов представления численного решения является имитационное моделирование.

Еще в 80-90-х годах XX века разрабатывалось большое количество имитационных моделей эксплуатации ВВТ ВМФ. Основной особенностью данных моделей являлось использование общей теории систем массового обслуживания с однородным потоком требований, в том числе, сетей массового обслуживания. Использование таких моделей позволяло исследовать стационарные режимы эксплуатации ВВТ ВМФ с существенными ограничениями, которыми, по мнению их авторов, можно пренебречь без потери точности. Наиболее существенным ограничением данных моделей была невозможность моделирования влияния эксплуатации отдельных образцов ВВТ ВМФ друг на друга и на систему эксплуатации в целом. Однако уже в конце XX века принятые при разработке моделей эксплуатации ВВТ ВМФ ограничения не позволяли безоговорочно использовать результаты этих моделей из-за неточности результатов моделирования, которые приводили к формированию не всегда корректных управленческих решений по эксплуатации ВВТ ВМФ.

Распространение в начале XXI века агентного подхода к разработке имитационных моделей сложных систем способствовало появлению новых моделей эксплуатации ВВТ ВМФ. В данных моделях удалось отойти от моделирования однородного потока требований за счет представления ВВТ ВМФ как отдельных агентов, персональное поведение которых оказывает влияние на систему в целом [1,2]. Это позволило снять ограничения моделей эксплуатации ВВТ ВМФ предшественников. В данных моделях, как правило, разрабатывалась типовая структура эксплуатации ВВТ ВМФ как отдельной стадии жизненного цикла.

Однако временные затраты на проведение вычислительных экспериментов оставались существенными, что связано с разнородностью ВВТ ВМФ. Разнородность заключается в том, что даже однотипные ВВТ ВМФ имеют существенный разброс эксплуатационных параметров. Каждый образец ВВТ ВМФ имеет свой уникальный набор значений исходных параметров, и в первую очередь, дату ввода в эксплуатацию. Разброс времени ввода в эксплуатацию разных ВВТ ВМФ может составлять от нескольких месяцев до десятка лет. Первоначально данная проблема решалась с

---

помощью отсроченного механизма рождения агентов и требовало прогона значительного периода модельного времени до начала исследуемого периода. Решить подобную проблему пытались и разработчики прикладных программ имитационного моделирования, например компания The AnyLogic Company. Она предложила механизм запуска модели с заданного момента времени. Данный механизм позволял однократно прогнать модель до требуемого момента времени, а затем осуществлять вычислительные эксперименты именно с этого момента.

Данный механизм существенно сокращает проведение экспериментов для многих моделей, но не для моделей эксплуатации ВВТ ВМФ. Особенность заключается в том, что модель надо использовать ежегодно со смещением начального состояния на один год. При этом имеемые ограничения на эксплуатацию ВВТ ВМФ многовариантны, что при использовании предложенного разработчиками механизма потребует проведения многократных прогонов каждый год, что опять будет существенно увеличивать время на проведение подготовительных экспериментов.

Выход из подобной ситуации предложен авторами статьи. Он заключается в следующем. Производить эксперимент, переводя модель в заданное историческое состояние за нулевое модельное время. Для этого задается ряд ненулевых (первоначальных) параметров, например, количество завершенных мероприятий, выполненных ВВТ ВМФ в процессе эксплуатации (обслуживаний, ремонтов и т.д.), а их продолжительность приравнивается к нулю. После перехода модели в заданное состояние значениям параметров продолжительностей мероприятий возвращается значение, соответствующее директивным или фактическими (в зависимости от целей проводимого вычислительного эксперимента).

Как отмечалось выше, применение агентного подхода к моделированию эксплуатации ВВТ ВМФ позволяет моделировать как одиночную эксплуатацию ВВТ ВМФ, так и их группу. Это позволяет учитывать совместное выполнение мероприятий или условий эксплуатации ВВТ ВМФ, что является актуальной задачей. Например, в современных условиях остро стоит вопрос контроля и соблюдения норм содержания ВВТ ВМФ в постоянной готовности (ПГ). Для реализации данного момента целесообразно дополнительно создать элемент модели (агент) отвечающий за механизм контроля и соблюдения уровня нормы содержания группы ВВТ ВМФ. Этого несложно достичь путем разработки и включения в модель системы алгебра-логических условий, производящих сравнение текущего состояния группы ВВТ ВМФ с директивным.

Другим актуальным вопросом моделирования эксплуатации ВВТ ВМФ является наиболее полная и качественная оценка технического состояния ВВТ ВМФ, изменяющегося в процессе эксплуатации. Разработанные модели эксплуатации ВВТ ВМФ изменение технического состояния ВВТ ВМФ учитывают по косвенным параметрам, к которым прежде всего относится назначенный ресурс (полный или до ремонта) [3]. Ресурс является эффективным показателем, отражающим динамику изменения технического состояния ВВТ ВМФ в процессе эксплуатации, поэтому оценка технического состояния ВВТ ВМФ через ресурс оправдана. Такие модели эксплуатации ВВТ ВМФ, как правило, моделируют расходование ресурса пропорционально периоду эксплуатации ВВТ ВМФ. Однако анализ отчетов по эксплуатации ВВТ ВМФ показал, что расходование ресурса ВВТ ВМФ в разные периоды эксплуатации происходит не равномерно, а с различной интенсивностью (скоростью). Игнорирование интенсивности расходования ресурса ВВТ ВМФ будет приводить к некачественной оценке технического состояния ВВТ ВМФ, а значит для повышения точности и адекватности моделирования эксплуатации ВВТ ВМФ интенсивность расходования ресурса ВВТ ВМФ необходимо моделировать.

На основании изложенных положений и с учетом возможностей современных программных средств имитации авторами разработана имитационная модель эксплуатации ВВТ ВМФ [4].

Для разработки имитационной модели эксплуатации ВВТ ВМФ выбрано программное средство имитационного моделирования компании The AnyLogic Company – AnyLogic (версия 7.3.2 PLE), как программное средство, поддерживающее метод агентного моделирования и позволяющее эффективно комбинировать этот метод с другими известными подходами.

Применение агентного подхода имитационного моделирования позволило разработать мультиагентную имитационную модель, состоящую из трех уровней (агентов).

Основной (базовый) уровень – агент «ВВТ», имитирует эксплуатацию ВВТ ВМФ. Данный агент представляет собой диаграмму состояний построенную в графическом редакторе. Здесь осуществляется последовательная смена мероприятий, выполняемых ВВТ ВМФ в процессе эксплуатации. Типовая структура агента «ВВТ» представлена на рисунке 1.

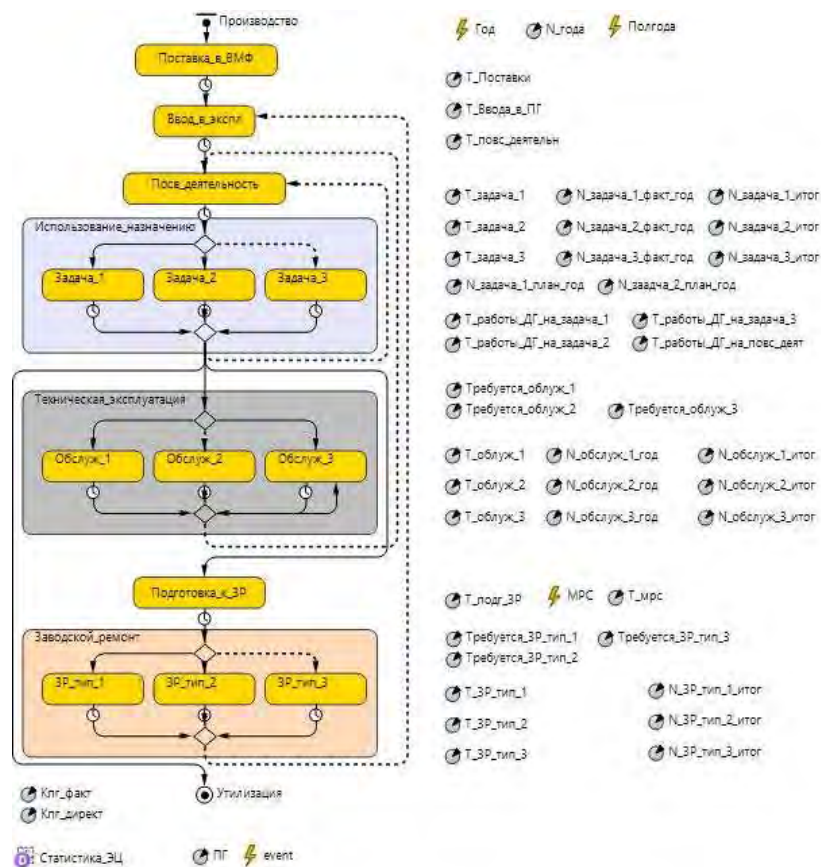


Рис.1 – Типовая структура агента «ВВТ»

При поступлении ВВТ ВМФ в одно из состояний, модель передает управляющий сигнал на следующий (нижестоящий) уровень – агент «Ресурс».

На этом уровне имитируется расход ресурса ВВТ ВМФ. Получая команду о начале выполнения ВВТ ВМФ мероприятия с основного (базового) уровня, имитируется начало работы – запуск ВВТ ВМФ. После получения команды об окончании мероприятия, имитируется – остановка ВВТ ВМФ. По результатам работы производится фиксирование моделируемых значений наработки ВВТ ВМФ за продолжительность каждого периода использования, подсчет итоговой наработки за

все время эксплуатации, а также вычисление остаточного ресурса до обслуживания, ремонта или списания.

По достижению значения ресурса, соответствующего ремонтным значениям, передается обратный сигнал в агент «ВВТ», и модель направляет ВВТ ВМФ в тот или иной вид обслуживания или ремонта. При поступлении управляющего сигнала с вышестоящего (базового) уровня на обслуживание или ремонт производится имитация работ по выполнению требуемого вида обслуживания (ремонта). Периодичность и время обслуживания (ремонта) ВВТ ВМФ задается в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации в виде табличной функции.

После завершения обслуживания производится передача сигнала агенту «ВВТ» о возможности дальнейшей эксплуатации ВВТ ВМФ, а значение остаточного ресурса до обслуживания восстанавливается на заданную величину, определяемую значением коэффициента восстановления.

Типовая структура агента «Ресурс» представлена на рисунке 2.

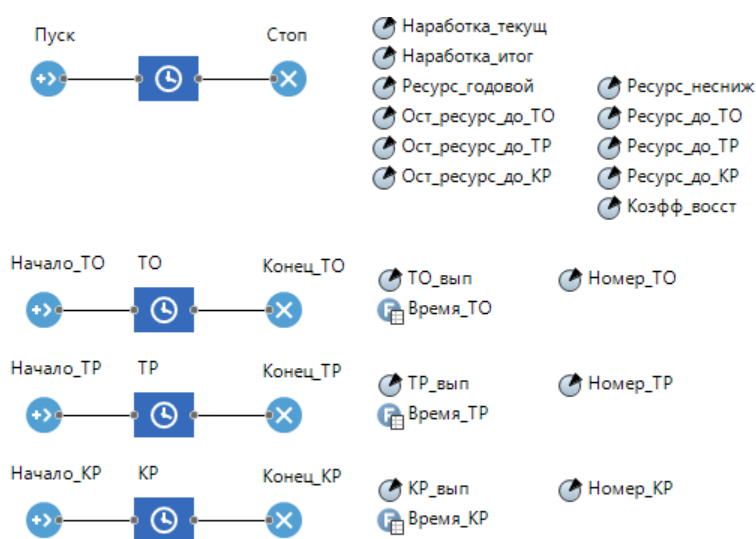


Рис.2 – Типовая структура агента «Ресурс»

По результатам работы агентов «ВВТ» и «Ресурс» собирается информация, которая передается на верхний уровень модели – агент «Группа ВВТ».

Агент «Группа ВВТ» имитирует синхронно-асинхронную эксплуатацию реплицированных агентов «ВВТ». Синхронно-асинхронное моделирование предусматривает выполнение имитации эксплуатации всех агентов «ВВТ» на одной и той же диаграмме состояний, но с различными исходными параметрами и в различные временные интервалы. Для наглядного представления моделируемых процессов на этот уровень выведены параметры эксплуатации каждого агента «ВВТ» в виде временной цветовой диаграммы, позволяющий осуществлять контроль за ходом работы модели.

Также на верхнем уровне модели реализована имитация функции управленческого решения органа управления группы ВВТ ВМФ, направленные на обеспечение требований к нормам содержания ВВТ ВМФ в составе сил ПГ. Требования норм содержания ВВТ ВМФ в составе сил ПГ выражены через коэффициент постоянной готовности, значение которого устанавливается пользователем в зависимости от целей моделирования. На графическом редакторе агента «Группа ВВТ» значения коэффициента постоянной готовности представлены в виде временного графика. Количество ВВТ ВМФ в группе в агенте «Группа ВВТ» может быть увеличено (реплицировано) до необходимого количества. Типовая структура агента «Группа ВВТ» представлена на рисунке 3.

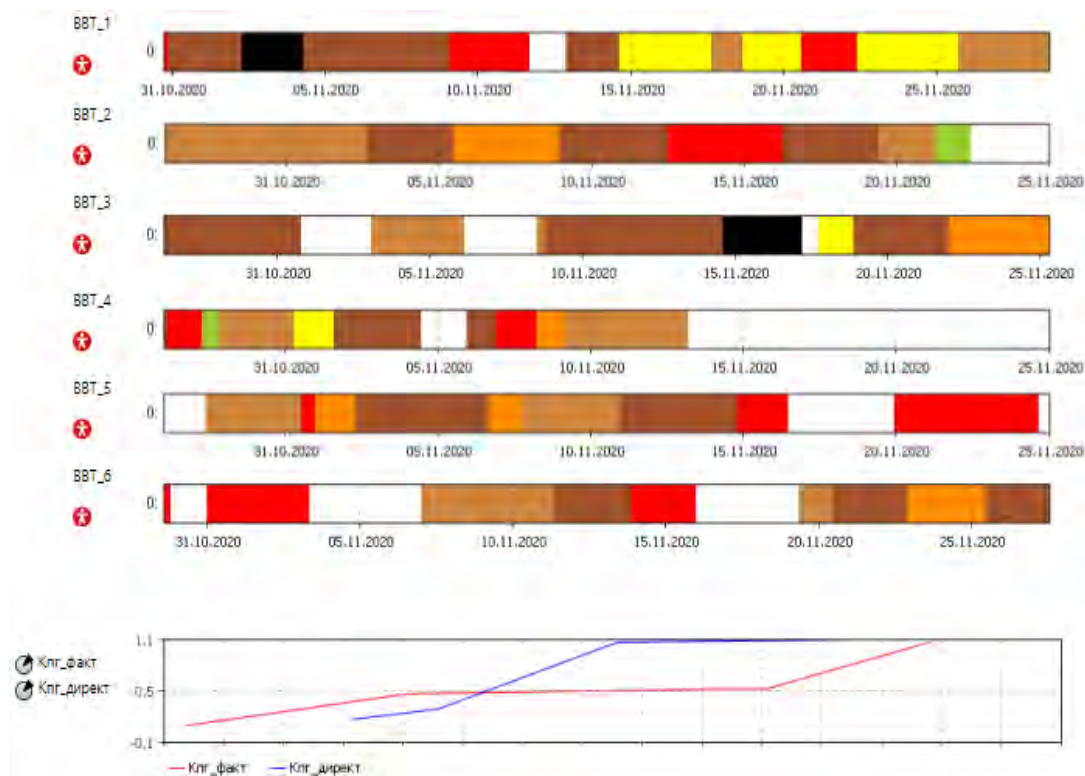


Рис.3 – Типовая структура агента «Группа ВВТ»

Для удобства использования применена взаимная интеграция данных, т.е. исходные данные заносятся в модель посредством привычной таблицы в редакторе Microsoft Excel.

Таким образом, использование программного обеспечения имитационного моделирования Anylogic (версии 7.3 и выше) позволяет разрабатывать более сложные (детальные) модели эксплуатации ВВТ ВМФ. За счет большей детализации процесса эксплуатации ВВТ ВМФ возможно изучение более сложных и динамически изменяющихся условий эксплуатации, что является неременной чертой современных условий эксплуатации ВВТ ВМФ.

### Литература

1. **Карпов Ю.Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 280 с.
2. **Вьюненко Л.Ф.** Имитационное моделирование [Текст]: учебник и практикум для академического бакалавриата / Л.Ф. Вьюненко, М.В. Михайлов, Т.Н. Первозванная; под ред. Л.Ф. Вьюненко. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 283 с. – ISBN 978–5–9916–6428–8.
3. ГОСТ 27.002–2015 Надежность в технике. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2016 – 06 – 21. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016, – 28 с.
4. **Батвиннин С.Ю.** Программное средство. Имитационная модель стадии эксплуатации жизненного цикла неатомных подводных лодок. Техническое описание программного средства [Текст] // Фонд алгоритмов и программ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», свидетельство о рег. № 022F2202. – СПб. : ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2020. – 73 с., уч. № 44605.