
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА

В.В. Попович, Я.А. Ивакин, Р.П. Сорокин (Санкт-Петербург), С.А. Власов (Москва)

Введение

Высшей формой специального математического и программного обеспечения управления силами и средствами в современном бою являются модели операций (боевых действий). Наиболее полными и адекватными являются имитационные модели операций (боевых действий). Теоретически с их помощью можно представить и заранее «проиграть» военную операцию, бой и т.п. с любой степенью точности, только возможности технических средств выступают здесь в качестве ограничивающего фактора. Поскольку имитационное моделирование операций является частью стандартного цикла управления, на первое место выходит фактор времени подготовки к проигрышу конкретной операции в конкретной ситуации управления. Традиционная технология разработки программного обеспечения (ПО) с длительной процедурой конструирования, программирования, отладки и тестирования ПО, даже с учетом новейших достижений в этой области, включающих объектно-ориентированное программирование на основе UML-дизайна, оказывается совершенно не приемлемой. Действующая имитационная модель совершенно новой, только что спланированной операторами морской операции должна быть разработана в течение нескольких часов, а то и десятков минут. В качестве альтернативы традиционной технологии разработки ПО предлагается технология визуального построения *сценариев* операций (боевых действий) на основе последних достижений в области представления и обработки знаний, с последующей автоматической трансляцией этих сценариев в действующие программные модели и многократным (в общем случае) проигрышем на универсальных компьютерах в реальном и произвольном масштабе времени.

1. Существо сценарного подхода к моделированию боевых действий

Одним из перспективных направлений обоснования структурно сложных решений на применение сил в условиях современных боевых действий является разработка и проигрывание сценариев действий этих сил на электронных картах интеллектуализированных геоинформационных систем (ИГИС).

Суть сценарного подхода заключается в разработке компьютерных моделей в виде сценариев действий сил, в которых последовательно и (или) параллельно выполняются отдельные тактические задачи, например, отдельный бой, удары, атаки, переход кораблей морем, поиск цели, траление, наведение и перехват, слежение, уничтожение противника всеми видами оружия, оценка результатов ударов и др.

Постановку задач на разработку компьютерных моделей осуществляют эксперты в предметной области. Разработку сценария может выполнять оператор органа управления, обладающий элементарными навыками обращения с компьютерной техникой и имеющий представление о моделируемых силах и средствах.

Таким образом, применение для обоснования решений, планов и для управления процессом их реализации существующих методов объективной оценки способно значительно повысить эффективность и качество функционирования различных организационно-технических систем в условиях боевых действий. При этом может осуществляться как оценка различных параметров, связанных с реализуемым системой процессом, так и оценка влияния всего процесса, отдельных его составляющих и внешних условий на качество решения системой поставленных и свойственных ей задач. Именно поэтому в современных условиях в качестве одного из основных методов исследования подобных закономер-

ностей широкое распространение получило имитационно-сценарное моделирование. Реальные процессы и системы, как правило, исследуют с помощью двух типов математических моделей: логико-аналитических и имитационных. В логико-аналитических моделях поведение реальных процессов и систем задается в виде явных функциональных зависимостей (сценариев, комплексов подсценариев-этапов, решающих правил), а в имитационных описывается аппарат принятия более частных решений с элементом случайности (поражена цель/ не поражена; обнаружен противник/ не обнаружен и т.п.) [1].

На практике имитационное моделирование боевых действий на основе сценарного подхода реализуется в виде соответствующей программно-информационной технологии.

2. Технология визуальной разработки сценариев моделирования боевых действий на базе онтологий и экспертных систем

Одним из перспективных направлений в области представления знаний некоторой предметной области являются онтологии. В сочетании с уже ставшей традиционной технологией основанных на правилах экспертных систем они дают мощный инструмент разработки ПО.

Онтология может быть определена как формальное описание понятий предметной области (*классов*), свойств и отношений этих понятий (представляются с помощью т.н. *слов*) и *объектов*, т.е. конкретных представителей классов с конкретными значениями слотов.

Военные операции (боевые действия) могут быть отнесены к более широкому классу *пространственных процессов*. Такие процессы могут быть описаны с помощью сценариев. Понятие сценария является обобщением понятия алгоритма. Определим *сценарий* как последовательность этапов и решений. *Этап* – это совокупность элементарных действий, выполняемых последовательно или параллельно. Решение представляет собой точку, в которой течение процесса может изменить свое направление в ту или иную сторону в зависимости от некоторых сложившихся к данному моменту условий. Таким образом, формально, *решение* определяется как совокупность *ветвей* (направлений продолжения сценария). *Действия* являются строительными блоками для сценариев. Они представляют собой специфические элементы деятельности участников сценариев, которые могут быть реализованы по-разному. В частности, любое действие может иметь *частный сценарий* своего выполнения. За счет этого свойства сценарий любой сложности м.б. декомпозирован на более простые сценарии.

Для разработки и проигрыша сценариев разработана специальная *визуальная среда*. Визуальная среда позволяет создавать сценарий из готовых визуальных компонентов, а также разрабатывать сами эти компоненты для дальнейшего использования. Визуальная среда значительно облегчает и ускоряет разработку сценариев, а также уменьшает количество ошибок.

Базовая онтология сценариев моделирования предметной области моделирования пространственных процессов разработана заранее и представлена в визуальной среде.

Упрощенный пример сценария морской операции в среде визуализации представлен на рис.1. Этапы представлены в виде розовых прямоугольников. Решения представлены в виде голубых ромбов.

Дальнейшая разработка заключается в конкретизации базовой онтологии применительно к выбранной предметной области. Она состоит из следующих этапов.

1. Построение схем сценариев моделируемых процессов
2. Построение схем этапов сценариев
3. Реализация блоков решений в сценариях

4. Реализация конкретных «элементарных» действий, из которых будут складываться сценарии моделируемых процессов.

Следует отметить, что отдельные этапы в общем случае могут отсутствовать, например, когда мы разрабатываем сценарий, состоящий только из уже разработанных действий. Также и порядок выполнения этих этапов может быть другим, например, когда мы заранее знаем, какие действия будут участвовать в сценариях, то можем сразу начать с этапа 4. Решения и действия реализуются с помощью правил на языках представления знаний, таких как CLIPS или Jess. Однако в среде визуальной разработки сценариев на базе объектно-ориентированного редактора онтологий Protégé эти правила представляются в виде соответствующих классов – подклассов базовых классов Правило-Решение и Правило-Действие – и экземпляров этих классов. Перед началом проигрыша сценариев из этих экземпляров генерируются настоящие правила с помощью *правил генерации правил*.

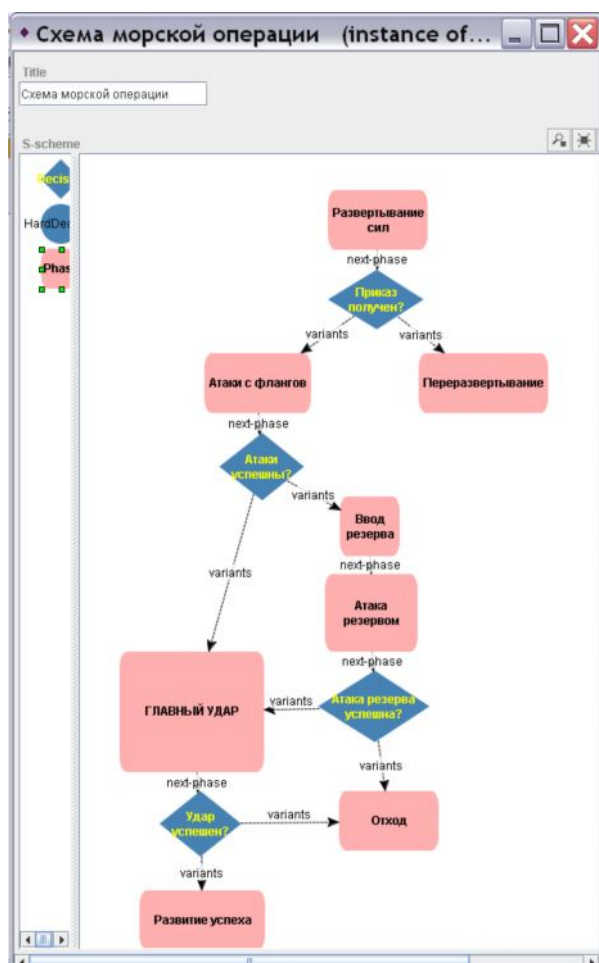


Рис. 1. Упрощенная схема сценария военной (военно-морской) операции

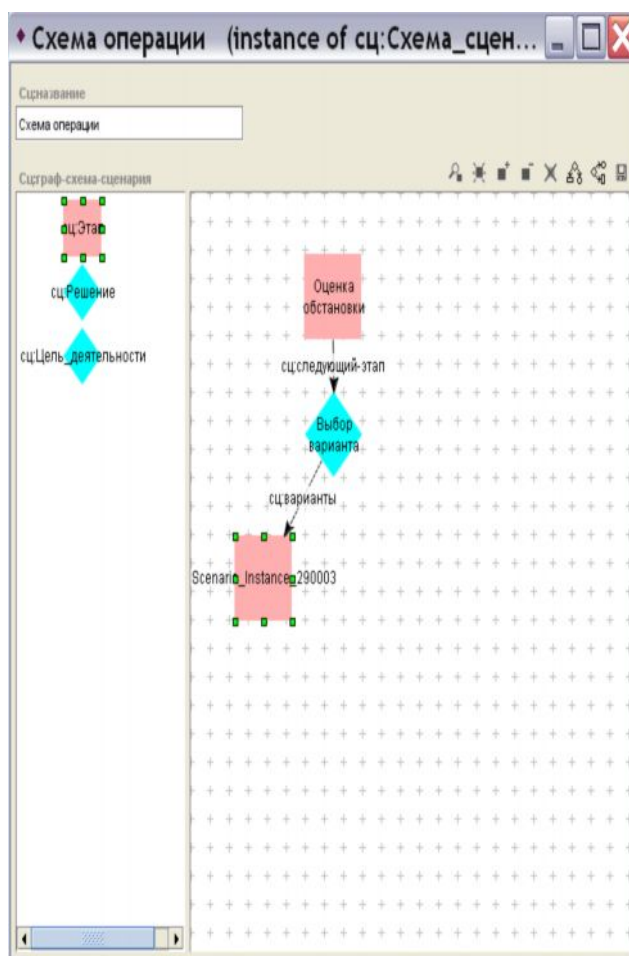


Рис. 2. Визуальное построение схем сценариев

2.1. Построение схем сценариев моделируемых процессов

Построение схем сценариев производится путем перетаскивания мышью визуальных компонентов, представляющих собой этапы и решения, со специальной палетки на чистое поле схемы сценария. Затем эти компоненты также при помощи мыши соединяются линиями, имеющими различную смысловую интерпретацию. Линии, выходящие из этапов, означают безусловный переход к следующему этапу или решению. Линии, выходящие из блоков решений, представляют собой переход к тому или иному варианту, в за-

висимости от условия, заключенного в решении. Они обозначены пунктиром. Процесс визуального дизайна схем сценариев представлен на рис.2.

Заканчивается процесс разработки схемы сценария созданием экземпляра класса *Сценарий* и заполнения его слотов. В частности, экземпляр схемы сценария заносится в соответствующий слот. Также заполняются слоты начальных и конечных этапов сценария. Такой сценарий является не конкретным, так как его этапы являются пустыми, они не наполнены действиями. Однако уже такой сценарий может проигрываться системой интерпретации сценариев, ход его выполнения будет представлен только сообщениями о выполнении того или иного этапа.

2.2. Построение схем этапов сценариев моделируемых процессов

Построение схем этапов происходит аналогично построению схем сценариев. Отличие заключается в том, что в палетке в этом случае находятся визуальные компоненты, соответствующие элементарным действиям. Для того чтобы они там оказались, необходимо заранее создать соответствующие подклассы класса *Действие*. Следует подчеркнуть, что для этого нет необходимости заранее знать и разрабатывать реализацию этих действий, достаточно только приблизительно определиться с необходимостью существования таких понятий. Даже их названия впоследствии можно будет легко изменить, не нарушая работы системы. Например, мы знаем, что объекты должны откуда-то появляться, поэтому чувствуем необходимость в «понятии» действия «Создать». Конкретную реализацию этого понятия мы можем отложить на потом. Пример схемы этапа приведен на рис.3.

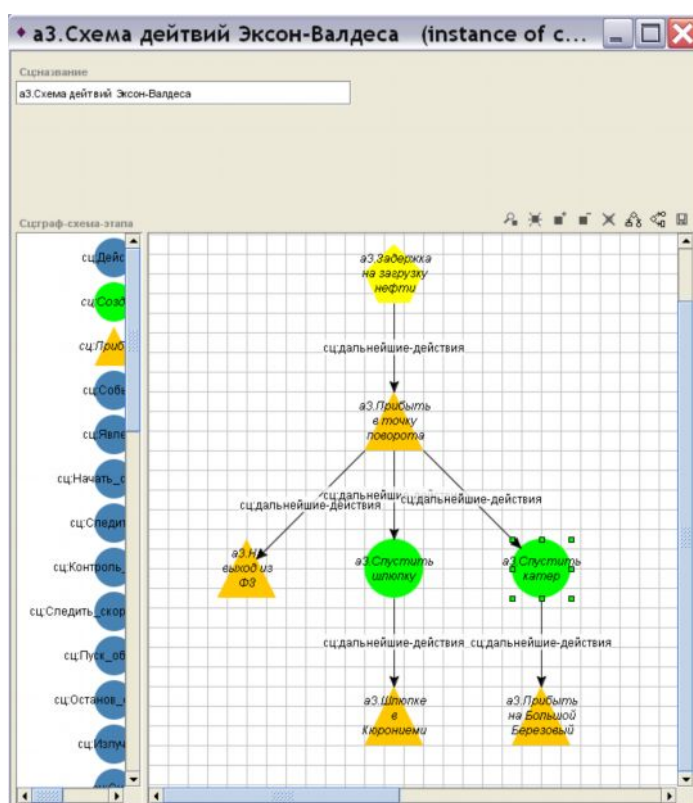


Рис. 3. Пример схемы этапа

Принципиальное отличие схем этапов от схем сценариев в том, что течение процесса выполнения сценария после точки разветвления продолжается только по одной из ветвей, в зависимости от выполнения условия в блоке решения, а течение процесса выполнения этапа после разветвления осуществляется по всем ветвям одновременно и па-

раллельно, без каких либо условий. Этот важный принцип следует иметь в виду, выполняя мысленный процесс декомпозиции сложного процесса на этапы и элементарные действия.

Далее следует заметить, что этап может иметь несколько начальных действий, это значит, что на схеме этапа может присутствовать несколько таких связанных графов, как показанный на рис.3. При запуске этапа все процессы, описанные этими графами начнутся одновременно и будут параллельно выполняться и далее разветвляться в своих точках разветвления на все большее количество параллельных процессов, пока не выполнятся терминальные действия всех графов.

Третий важный момент. Этап считается законченным, если выполнены все конечные действия данного этапа. Но не все терминальные действия входящих в схему графов могут включаться в конечные действия этапа. Это означает, что этап может закончиться и произойдет переход к другому этапу прежде чем закончатся все процессы, запущенные этим этапом. Более того, список конечных действий этапа может быть пустым и это будет означать переход к следующему этапу сразу после начала всех процессов, привязанных к начальным действиям данного этапа.

2.3. Реализация блоков решений в сценариях

Первоначально следует создать необходимые подклассы класса *Правило-Решение* для каждой типовой ситуации принятия решения. Для каждой такой ситуации пишется простая программа на языке CLIPS или Jess в зависимости от того, какая машина логического вывода используется для поддержки системы сценариев. Сущность программы заключается в проверке некоторых условий. В результате программа должна возвращать номер ветви, по которой должен продолжаться сценарий. Программа записывается в слот **сц:правило-решение** (префикс *сц:* обозначает пространство имен данной онтологии и играет вспомогательную роль) соответствующего данной ситуации подкласса класса *Правило-Решение*. Исходными данными для данной программы будут значения слотов конкретного экземпляра данного подкласса класса *Правило-Решение*. На этапе реализации блоков решений необходимо создать эти слоты (или использовать существующие) и включить в данный подкласс. Доступ к значениям слотов на этапе выполнения сценария программа получает через переменные, имена которых совпадают с названиями слотов, но начинаются со знака? (по соглашениям языков CLIPS и Jess). В ходе выполнения сценария до входа в данный блок решения соответствующие слоты должны быть заполнены.

2.4. Реализация конкретных действий

Реализация классов действий похожа на реализацию классов решений. Отличие заключается в том, что при реализации класса типового действия (как подкласса базового класса *Правило-Действие*) необходимо разработать не одну, а 3 программы, каждая из которых записывается соответственно в слоты **сц:правило-начало**, **сц:правило-повторение** и **сц:правило-действие**. Теоретическими основаниями для этого являются следующие:

1. Каждое действие представляется, в общем случае, дящимся во времени
2. Имитационное компьютерное моделирование процессов является дискретным, при котором в цикле, повторяющемся с интервалом Δt происходят вычисления, проверяются условия и моделируются события.
3. Следовательно у любого действия, в общем случае, есть начальная фаза, в которой формируется исходное состояние действия
4. Фаза повторения, на которой периодически в каждом интервале Δt изменяется состояние действия и проверяется условие его окончания. Данная фаза является не обязательной, т.к. действие м.б. «мгновенным» – одномоментным, с т.з интервала Δt .
5. Фаза окончания, на которой формируется конечное состояние действия. Она также может отсутствовать.

Конкретный пример в виде класса Маршрут представлен на рис.4. В слоте **сц:точки** описываются координаты точек маршрута, по которому должен двигаться объект, имя которого задается в слоте **сц:имя**. В слоте **сц:правило-начало** записана программа, согласно которой объекту задается курс на первую точку маршрута и скорость из слота **сц:скорость**. Кроме того, номер и координаты этой точки запоминаются соответственно в слотах **сц:номер**, **сц:широта** и **сц:долгота**. В слоте **сц:правило-повторение** записана программа, которая будет выполняться в каждом цикле Δt во время проигыва сценария.

В данной программе сначала проверяется прибыл ли объект в очередную точку. Если – да, и эта точка последняя, то действие переводится в статус ОКОНЧАНИЕ. Если же точка не последняя, то происходит переход к следующей точке – объект ложится на курс в эту точку. В слоте **сц:правило-окончание** записана программа, согласно которой скорость объекта обнуляется.

На рис.5 приведен экземпляр класса Маршрут из конкретного сценария.

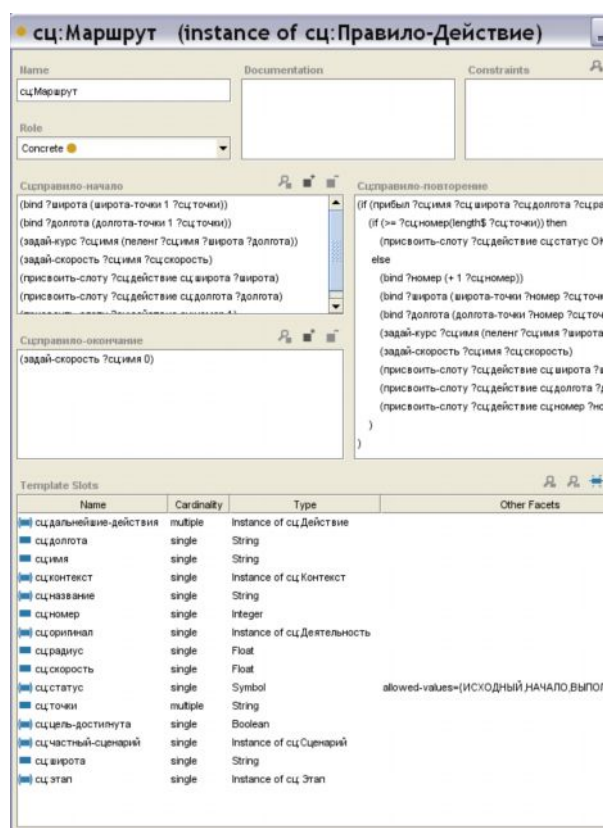


Рис.4 Подкласс Маршрут класса *Правило-Действие*

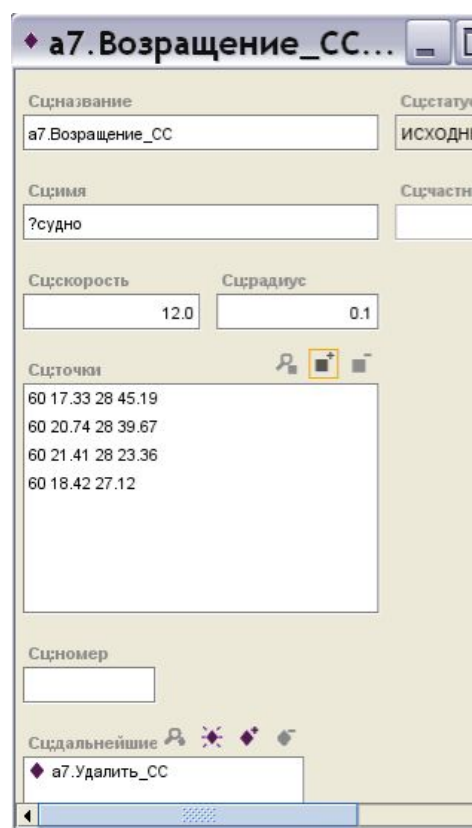


Рис.5 Пример экземпляр класса *Маршрут*

2.5. Параметрические сценарии

Нетрудно заметить, что в слоте **сц:имя** на рис.5 стоит ?судно, т.е. не конкретное имя объекта, а переменная. Что это означает? Это означает, что сценарии в общем случае являются *параметрическими*, то есть описывающими не только целиком конкретные реализации некоторых процессов, а процессы в общем виде. Конкретные реализации происходят при проигрывании параметрических сценариев после задания конкретных значений переменным. Приведенную выше реализацию действия Маршрут, равно как и сценарий, в который она входит, можно будет выполнить только после задания конкретных значений всем переменным (?судно = «Капитан Плахин»). При разработке сценариев переменные могут задаваться для любых слотов строкового типа.

Для реализации параметрических сценариев в онтологии введено специальное понятие Контекст и соответствующий класс для него. У этого класса есть слот **пары**. Каждая пара в конкретной реализации класса Контекст ставит в соответствие каждой переменной сценария конкретное значение. Экземпляры класса Контекст можно приготовить заранее, а можно заполнять непосредственно перед запуском сценария через соответствующий интерфейс пользователя.

Реализация отдельных элементов сценариев (моменты принятия решений в условиях неопределенности, моделирование действий противника и пр.), как и отдельных сценариев боев, ударов и атак, может осуществляться с использованием программных механизмов имитационно-статистического моделирования. При этом механизм такого моделирования представляет собой численный метод проведения на компьютере вычислительных экспериментов с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов, процессов и систем во времени в течение заданного периода. При этом функционирование реальных процессов и систем разбивается на элементарные явления, подсистемы и элементы. Функционирование этих элементарных явлений, подсистем и элементов описывается набором алгоритмов, которые имитируют их с сохранением логической структуры и последовательности во времени.

3. Преимущества и недостатки

Важной особенностью имитационного моделирования боевых действий на основе сценарного подхода является использование в качестве пространственной информационной основы, обеспечивающей реализацию пространственно-временной интеграции данных, геоинформационной системы (ГИС). При этом ГИС обеспечивает сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распределение пространственных данных [2]. При этом в интересах имитационного моделирования сложных пространственно-распределенных динамических систем геоинформационная система, прежде всего, может использоваться:

как источник исходной информации о среде, хранящейся в географически привязанных базах данных (БД);

для пространственной ориентации имитируемых элементов современного боя;

для наглядной пространственно-временной интерпретации и визуализации, в динамике наступления событий, имитируемых действий (рис. 6);

для отображения результатов моделирования.

Применение методов имитационного моделирования, с использованием сценарного подхода и геоинформационных технологий позволяет реализовать следующие основные возможности, необходимые для описания такого сложного пространственно-распределенного и динамично-изменяющегося явления, как боевые действия:

возможность описания поведения компонент (элементов), процессов, реализуемых соответствующими системами, или процесса вооруженной борьбы в целом на высоком уровне детализации;

отсутствие ограничений между параметрами имитационного моделирования, состоянием внешней среды реального процесса и моделируемой системы;

возможность исследования динамики взаимодействия элементов боевых действий, отдельных составляющих и процесса ее развития в целом во времени и пространстве;

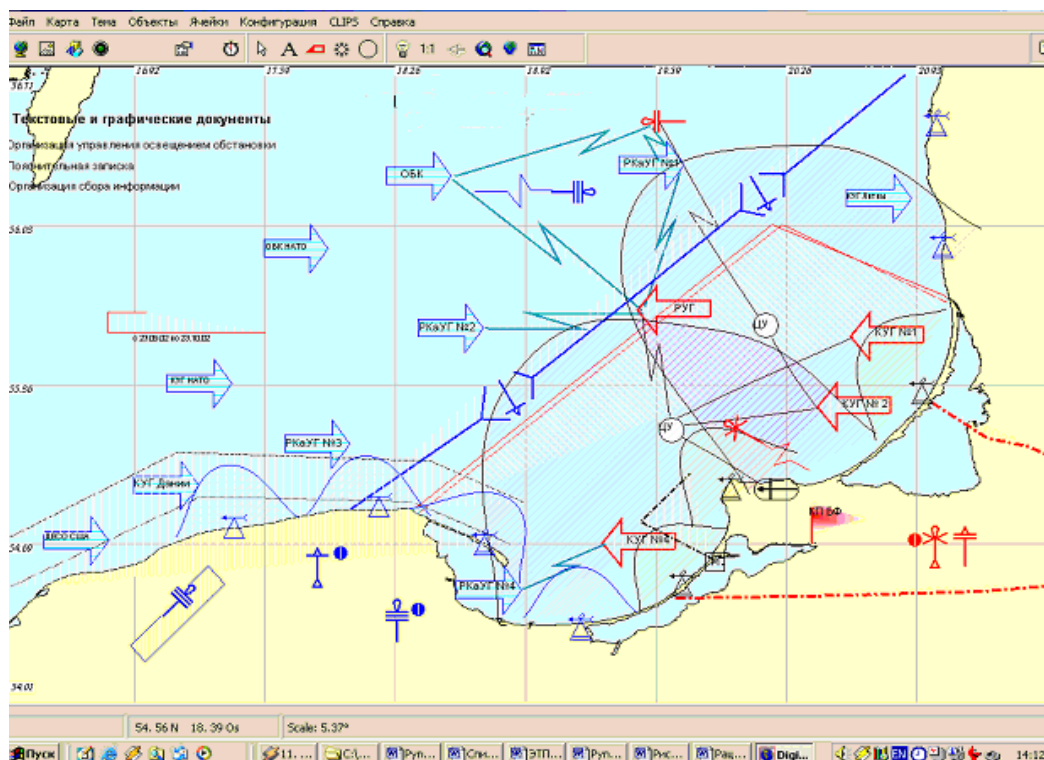


Рис. 6. Пример визуализации и наглядной пространственно-временной интерпретации боевых действий в ГИС, в динамике наступления событий

возможность учета влияния моделируемой системы, как обеспечивающей информационной подсистемы на эффективность функционирования системы высшего порядка.

Эти достоинства обеспечивают имитационному методу широкое распространение. Использование имитационного моделирования боевых действий может быть рекомендовано в следующих случаях:

если не существует законченной постановки задачи исследования и идет процесс познания специфики развития боевых действий определенного вида. Имитационная модель служит средством изучения явления;

если аналитические методы имеются, но математические процессы сложны и трудоемки, и имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;

когда, кроме оценки влияния параметров (переменных) процесса или системы, желательно осуществить наблюдение за поведением компонент (элементов) процесса или системы (ПС) в течение определенного периода;

когда имитационное моделирование оказывается единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальных условиях (применение термоядерного оружия, исследования противоборства в космическом пространстве и т.п.);

когда необходимо контролировать протекание процессов или поведение систем путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации;

при подготовке специалистов для освоения новой техники, когда на имитационных моделях обеспечивается возможность приобретения навыков в эксплуатации новой техники;

при изучении новых ситуаций в реальных процессах боевых действий. В этом случае имитация служит для проверки новых стратегий и правил проведения экспериментов.

Однако имитационное моделирование боевых действий наряду с достоинствами имеет и некоторые недостатки. К основным из них можно отнести следующее:

может оказаться, что модель боевых действий, описываемая сценарием, неточна, но исследователь не в состоянии оценить степень этой неточности;

привитие определенной шаблонности в оценке ситуации при ведении боевых действий.

Заключение

Имитационное моделирование боевых действий на основе сценарного подхода открывает широкие возможности для управления силами и средствами в современном бою, оценки эффективности и оптимизации усилий в действиях сил с учетом различных природных, экономических и других условий. Исследования показывают, что в качестве инструмента, обеспечивающего проведение указанного моделирования следует рекомендовать программные системы, включающие такие компоненты, как:

геоинформационный интерфейс;

систему онтологий предметных областей моделирования и базы данных по среде, по характеристикам вооружения своих сил и потенциального противника;

расчетные модели оценки возможностей отдельных объектов моделирования;

имитационная модель оценки эффективности поиска;

экспертная система, обеспечивающая решение ряда задач, связанных с управлением моделированием геопространственных процессов.

В качестве платформы, реализующей данную структуру системы моделирования, целесообразно использовать интеллектуальную геоинформационную систему (ИГИС) [6-9].

Литература

1. **Сорокин Р.П.** Визуальное моделирование пространственных процессов: тр. международного семинара «Интеграция информации и геоинформационные системы», 2007.
2. Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки // Под общ. ред. Р.М. Юсупова, В.В. Поповича. – СПб.: Наука, 2013. – 283 с., ил.
3. **Barker R.** CASE*Method: Entity – Relationship Modelling / R.Barker. – MA.: Addison-Wesley, 1990.
4. **Чен П.** Модель «сущность – связь» – шаг к единому представлению данных // Системы управления базами данных. – 1995. – № 3.
5. **Власов С.А., Девятков В.В.** Имитационное моделирование в России: прошлое, настоящее, будущее // Автоматизация в промышленности. – 2005. – № 5. – С. 63–65.
6. **Vasily Popovich.** Concept for Corporate Information Systems Based on GIS Technologies Development. // Proceedings of IF&GIS-09, May 17–20, 2009, St. Petersburg, Springer//Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 371 pp.
7. **V. Popovich, S. Vanurin, S. Kokh, V. Kuzyonny.** Intellectual Geographic Information System for Navigation Safety // Systems, vol. 25, num. 8, August, 2011.
8. **Попович В.В., Ермолаев В.И., Леонтьев Ю.Б., Смирнова О.В.** Моделирование гидроакустических полей на основе интеллектуальной геоинформационной системы // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 4.
9. **Ермолаев В.И., Макшанов А.В.** Использование возможностей интеллектуальных геоинформационных систем при управлении средствами обнаружения охраняемых объектов морской экономической деятельности: труды 13 Всероссийской науч.-практ. конф. «Охрана и безопасность», 2011.