

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ УПРАВЛЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОЙ ПРОВОДКОЙ СУДОВ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ****Е. В. Хуторная (Санкт-Петербург)****Постановка задачи**

Целью данной работы является расширение зоны, охватываемой ледокольным обеспечением, что позволит увеличить объемы грузоперевозок по Северному морскому пути благодаря объединению в сеть нескольких судов с ледоколом с расположенной на нем системой управления, а также обеспечить надежную проводку судов по Северному морскому пути, качественно и количественно оценить работу мобильной сети управления безопасной проводкой судов различными средствами.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- функциональное моделирование работы мобильной сети управления безопасной проводкой судов по Северному морскому пути;
- имитационное моделирование работы мобильной сети, осуществляющей обмен информацией между ледоколом с расположенной на нем системой управления и судами для обеспечения их безопасной проводки по Северному морскому пути.

**Функциональное моделирование**

Рассмотрение работы мобильной сети, обеспечивающей надежную проводку судов по Северному морскому пути, начинается с проведения функционального моделирования с использованием среды VPwin. Благодаря возможностям данного программного продукта, функциональные диаграммы представлены в двух из трех возможных нотаций, а именно: диаграммы потоков работ (нотация IDEF3) и потоков данных (нотация DFD).

Выбор конкретной топологии сети связан с конструктивными ограничениями, а также требованиями к обеспечению надежности мобильной сети. С точки зрения обеспечения требуемой надежности, топология локальной вычислительной сети (ЛВС) типа «звезда» наиболее предпочтительна. Выделенный сервер расположен на ледоколе, на судах имеются бортовые вычислительные машины (БВМ). Функционирование мобильной сети осуществляется при помощи программы управления, контролирующей режимы ее работы (дежурный, рабочий) и передвижения судов. Два режима работы сети рассматриваются с точки зрения сбережения ресурсов: в дежурном режиме решается задача выбора приоритетных задач, в рабочем эти задачи выполняются.

Управление режимами работы сети, т.е. переход из дежурного режима в рабочий и обратно, происходит благодаря контролю над двумя параметрами: временем получения отклика от бортовой вычислительной машины (БВМ), расположенной на судне, и длительностью передачи результата решения задачи, поставленной БВМ, расположенной на ледоколе. Важной особенностью данной нотации (нотации IDEF3) среды VPwin является использование перекрестков (логических элементов), позволяющих регулировать последовательность протекания работ, в данном случае по контролю вышеупомянутых параметров (рис. 1).

Следующая нотация (нотация DFD) среды VPwin позволяет распределять информационные потоки обеспечения работы сети. Данный стандарт предполагает использование хранилищ и внешних ссылок, позволяющих накапливать информацию и осуществлять переход из дежурного состояния в рабочее и обратно, располагая данными о ледовой обстановке (рис. 2).

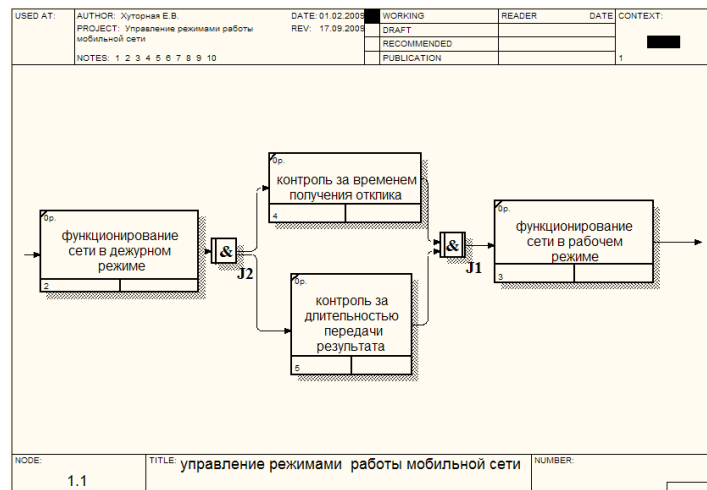


Рис. 1. Функциональная диаграмма управления режимами работы мобильной сети

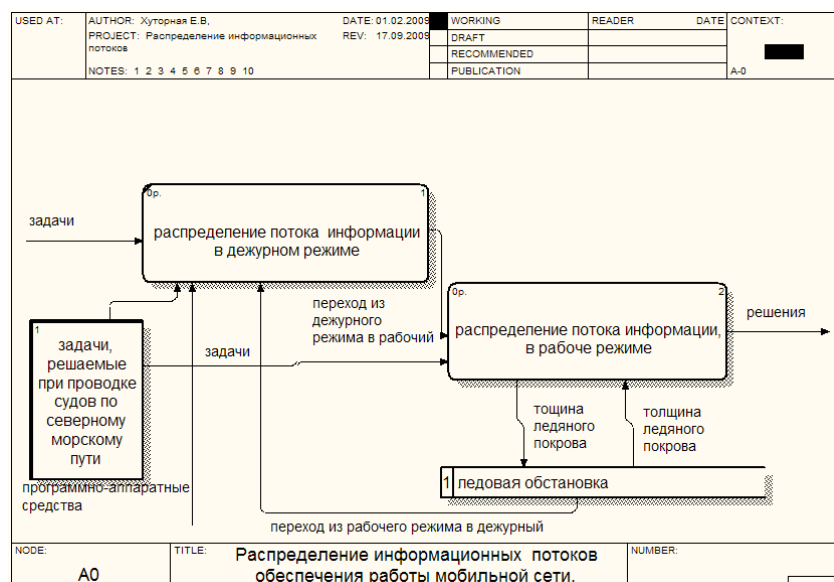


Рис. 2. Функциональная диаграмма распределения информационных потоков обеспечения работы мобильной сети

Данные модели дают представление о функционировании мобильной сети в целом и позволяют понять взаимосвязи системы. Данная среда позволяет при наличии информации от экспертов количественно оценить используемые ресурсы по критериям времени и стоимости.

### Имитационное моделирование

Функциональное моделирование в большей степени качественно характеризует сеть, позволяющую взаимодействовать судам и ледоколу; для ее количественной оценки проведено комплексное имитационное моделирование, рассмотрены альтернативные подходы. Один из них предполагает разработку программы, блок-схема алгоритма которой представлена на рис. 3. Программа написана с использованием языка GPSS, используемого в среде имитационного моделирования GPSS World (Global Purpose Simulation System – общецелевая система моделирования). Модель представляет собой последовательность операторов. Блок-схема использует присущие данному программному продукту графические средства.

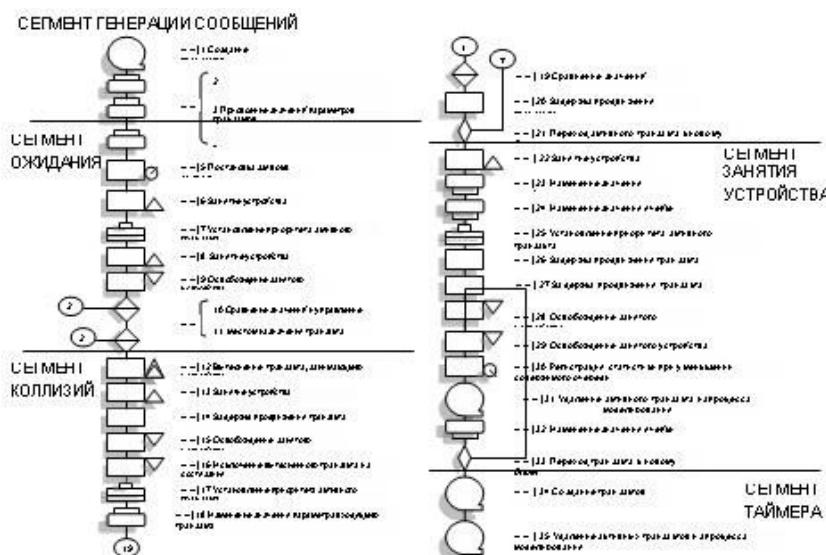


Рис. 3. Блок-схема алгоритма задачи моделирования работы сети Ethernet

Для организации сети используются каналы обмена сети Ethernet: сообщения представлены транзактами, узлы и сеть – устройствами GPSS World.

Структуру алгоритма можно разбить на несколько сегментов, а именно: сегмент генерации сообщений, сегмент ожидания (в случае занятости обработчика информации), сегмент коллизий, возникающих при одновременной попытке двух и более БВМ передать информацию обрабатывающему устройству, сегмент занятия устройства, представляющего собой выделенный сервер (при конкретной топологии «звезда») и сегмент таймера. Реализована возможность фиксации состояния сети до и после прохождения обрабатывающего устройства. Алгоритм задачи моделирования работы сети осуществлен с использованием циклов.

Результаты моделирования позволили выполнить параметрический анализ работы сети. Были выявлены параметры (интервал между поступлением сообщений и количество передаваемой информации), оказывающие влияние на работоспособность сети. Одна из гистограмм, полученная при варьировании частоты обращений к обрабатывающему устройству показана на рис. 4.

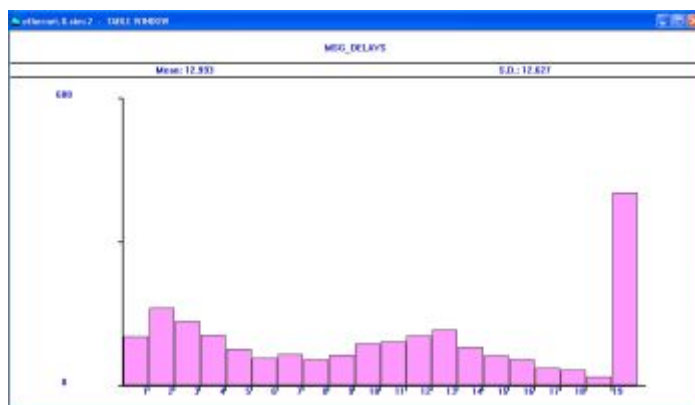


Рис. 4. Гистограмма задержки сообщений при варьировании частоты обращений к ресурсам обрабатывающего устройства (интервал между сообщениями равен 0,5 мс)

Дана оценка обрабатывающего устройства, а именно: процент его использования, количество произошедших коллизий и средняя задержка сообщений (табл. 1). Видно, что с увеличением запросов ресурса обрабатывающего устройства загружен-

ность сервера возрастает, поэтому для удовлетворительной работы сети необходимо поступление задач распределять во времени.

Таблица 1

**Результаты моделирования при варьировании интервала между поступлением сообщений**

Интервал между сообщениями, мс	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Использование устройства Ethernet, %	36	49	50	50	53	52
Количество коллизий	379	51	22	17	8	3
Средняя задержка сообщений, мс	12,627	2,531	1,404	1,236	0,966	0,066

Получены гистограммы при варьировании количества передаваемой информации и проведена их математическая аппроксимация по следующим формулам (1):

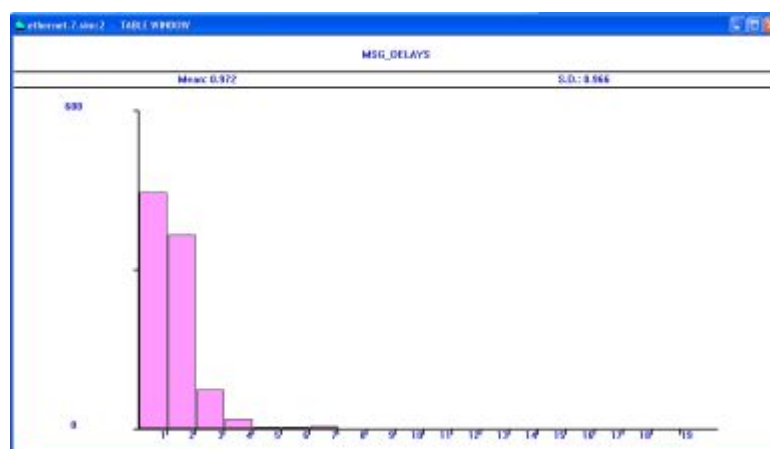
$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & x \in [a, b], \\ 0, & x \notin [a, b]. \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2}, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

Первая формула – для плотности вероятности равномерного распределения, вторая – для плотности вероятности экспоненциального распределения, третья – плотность вероятности логарифмически нормального распределения.

Одна из гистограмм при варьировании количества передаваемой информации показана на рис. 5.



**Рис. 5. Гистограмма задержки сообщений при варьировании количества передаваемой информации (максимальное сообщение равно 12144 бит)**

Получена оценка использования обрабатывающего устройства (процент его использования, количество коллизий и средняя задержка сообщений).

Таблица 2

### Результаты моделирования при варьировании количества передаваемой информации

Количество информации, бит	1024	2048	4096	8192	12144
Использование устройства Ethernet,%	8,1	12,3	20,4	36	52
Количество коллизий	0	0	1	2	3
Средняя задержка сообщений, мс	0,029	0,084	0,208	0,517	0,066

Из табл. 2 видно, что с увеличением количества передаваемой информации процент использования обрабатывающего устройства растет, но не так значительно, как с увеличением интервала между поступлением сообщений. Поэтому для удовлетворительной работы сети необходимо уменьшать количество передаваемой информации или же разбивать ее на части. Данный подход к имитационному моделированию имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам можно отнести возможность детализации и совершенствования существующей модели, связанных с учетом еще большего количества параметров и информации о системе. Недостаток такого подхода – трудоемкость реализации.

В качестве альтернативного подхода к имитационному моделированию было выбрано развивающееся анимационное направление, эффективность которого определяется полнотой настройки элементов модели. Для проведения имитационного моделирования с возможностью анимации была выбрана среда Arena. Средствами данного программного продукта представлены модули сети и основные коммутации между ними. Модель (рис. 6) демонстрирует работу сети, состоящей из нескольких вычислительных машин (модули Server), соединенных между собой контролирующими модулями Inspect. Сообщения занимают ресурс обрабатывающего устройства и распределяются далее по направлениям, определенным в модулях Inspect.

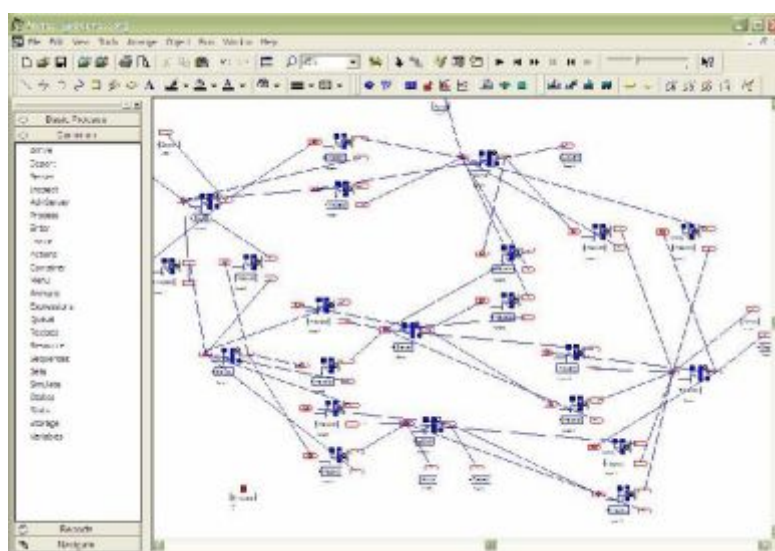


Рис. 6. Имитационная модель

Структура имитационной модели использует ограниченное число элементов, настройку которых необходимо произвести.

Модуль «Server» (рис. 7): в этом модуле объекты входят в устройство, занимают ресурсы сервера, испытывают задержку обработки и передаются на другую вычислительную машину. Здесь сообщения входят в устройство и обслуживаются ресурсом Server1\_R. Емкость ресурса фиксирована и используется целиком, пока не определено время недоступности ресурса. Время обслуживания основывается на выражении Process Time (время обслуживания). По завершении обслуживания сообщения направляются к модулям на основе дискретного распределения Disc(0.33,inspect 2,0.66,inspect 10, 1.0, inspect 8). Независимо от определенного модуля, время маршрутизации единичное.

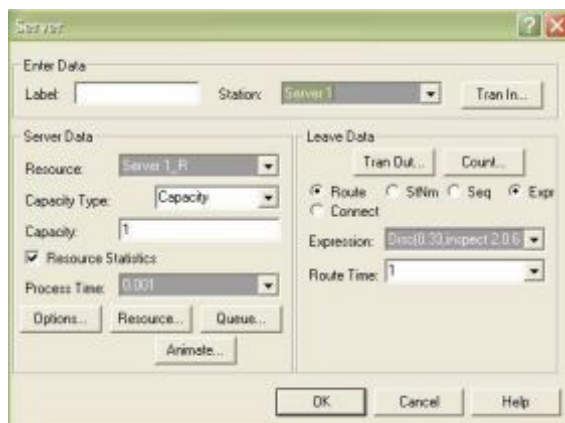


Рис. 7. Настройка модуля Server

Модуль «Inspect»: данный модуль подобен обслуживающему модулю Server, однако он разделяет сообщения на два выхода. На один выход поступают прошедшие сообщения, а на другой – отказавшие. В настройке этого модуля (рис. 8) 0,2% сообщений, которые входят в этот модуль, получают отказ от обслуживающего устройства. Сообщения, прошедшие контроль, посылаются на модуль Server 5; объекты, которые не прошли контроль, отправляются к модулю Server 1.

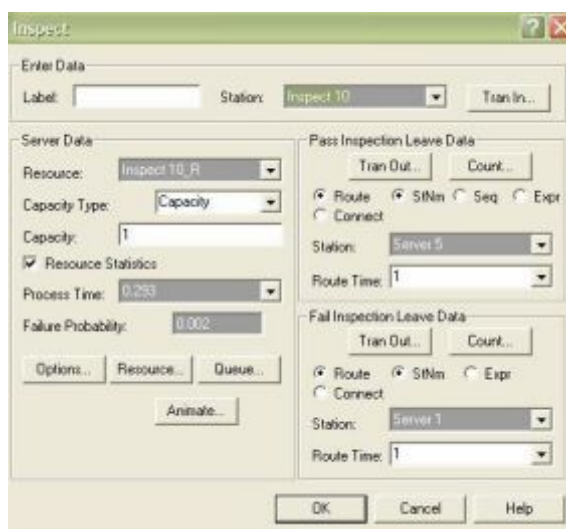


Рис. 8. Настройка модуля Inspect

Результаты прогона имитационной модели позволяют выяснить загрузку вычислительных машин, а также проанализировать динамику процессов, происходящих при

функционировании мобильной сети управления безопасной проводкой судов по Северному морскому пути, и тем самым нагляднее представить ее в работе.

### Заключение

Проведенное в данной работе функциональное моделирование позволяет качественно характеризовать работу мобильной сети управления безопасной проводкой судов благодаря распределению потоков работ при функционировании данной мобильной сети, а также распределению информационных потоков между ледоколом с расположенной на нем системой управления и судами, обеспечивая безопасную проводку судов по Северному морскому пути. Используя средства функционального моделирования и информацию от экспертов, можно количественно оценить используемые ресурсы по критериям времени и стоимости.

При проведении имитационного моделирования были рассмотрены два альтернативных подхода. Один из них связан с разработкой программы, написанной на языке, который использует такую среду имитационного моделирования, как GPSS World, второй подход предполагает анимационные возможности имитационной среды Arena. С помощью этих программных продуктов были получены количественные оценки работы локальной сети, благодаря которой происходит взаимодействие между ледоколом с расположенной на нем системой управления и судами, обеспечивая безопасную проводку судов по Северному морскому пути. Выявлены параметры, оказывающие влияние на производительность сети, а именно: интервал между поступлениями сообщений и количество передаваемой информации. Получены характеристики этих параметров, при которых сеть функционирует удовлетворительно. Итак, обрабатывающее устройство загружено на 52%, и сеть действует удовлетворительно при интервале между сообщениями, равном 1 мс, и максимальном количестве передаваемой информации за такт обмена данными, равном 12144 бит. Необходимо приближать реальные характеристики сети к этим параметрам. Обращаясь к вопросу совместного использования результатов функционального и имитационного моделирования как возможного направления дальнейшего развития, хотелось бы отметить возможность преобразования диаграмм потоков работ среды VPro в имитационную модель среды Arena, что позволит наиболее эффективно проводить моделирование работы мобильной сети управления проводкой судов.

### Литература

1. Руководство пользователя по GPSS World /Пер. с англ./ Казань: Мастер Лайн, 2002. 384 с.
2. Учебное пособие по GPSS World /Пер. с англ./ Казань: Мастер Лайн, 2002. 272 с. С. 137–144, 259–264.
3. **Хуторная Е. В.** Моделирование работы распределенной вычислительной системы подводного комплекса /Доклад на XI конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 9 с.