

На правах рукописи

ОХОТНИКОВ Евгений Сергеевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ
ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ**

Специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование,
численные методы, программные комплексы»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень-2006

Диссертация выполнена на кафедре программного обеспечения ГОУ ВПО «Тюменский Государственный Университет».

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент
Захарова Ирина Гелиевна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Панфилов
Геннадий Андреевич
кандидат физико-математических наук, доцент
Мосягин Вячеслав Евгеньевич

Ведущая организация: ОАО «Сибирский научно-исследовательский
институт нефтяной промышленности»
(СибНИИ НП), г. Тюмень

Защита состоится 20 декабря 2006 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета К212.274.01 при Тюменском Государственном Университете по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Перекопская, 15а, аудитория 217.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского Государственного Университета.

Автореферат разослан 17 ноября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Бутакова Н.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В промышленности использование систем оперативного мониторинга позволяет добиться повышения эффективности труда и качества выпускаемой продукции, достижения высоких эксплуатационных характеристик оборудования, сведения к минимуму любых производственных потерь. В нефтегазодобывающей отрасли необходимость таких систем не вызывает сомнений в силу присущих ей особенностей: территориальная удаленность подразделений предприятий, тяжелые эксплуатационные условия, недостаточно развитая инфраструктура, дефицит квалифицированных кадров, высокие материальные и трудовые затраты, связанные с ликвидацией последствий нарушений производственного процесса.

Системы оперативного мониторинга нефтегазодобывающего комплекса (СОМ) – это территориально распределенные информационные системы контроля, диагностики и управления, основной целью применения которых, согласно В.Н. Костюкову, является повышение эффективности и безопасности производства благодаря: непрерывному мониторингу технологических объектов; снижению трудоемкости управления процессами; замене устаревших средств автоматизации и систем управления. Как отмечает М.Ф. Ализаде, СОМ позволяют «обеспечить эффективную работу предприятий в заданных режимах, повышать качество выпускаемых продуктов, обеспечить безаварийность и экологическую безопасность, повысить производительность труда».

Для успешного решения своих задач СОМ должны обеспечивать высокую актуальность информации. Однако, несмотря на постоянно увеличивающуюся интенсивность потоков данных, в СОМ по-прежнему часто используются низкоскоростные УКВ-каналы связи. Это противоречие в сочетании со значительной стоимостью СОМ на стадии проектирования приводит к необходимости удостовериться в том, что система будет удовлетворять предъявляемым требованиям, т.е. определить временные характеристики

процессов передачи данных. Для этого требуется разрабатывать и исследовать математические модели СОМ.

В настоящее время моделирование и проектирование СОМ базируется на подходах, предложенных Е.Б. Андреевым, В.И. Костиным, В.Н. Костюковым, М. Месоровичем, В.И. Нейманом, Б.Я. Советовым, А.В. Суздаевым. Более общая задача моделирования сетей передачи данных широко освещена в работах российских (Л.Г. Афанасьева, Г.П. Башарин, А.А. Боровков, Н.П. Бусленко, Б.В. Гнеденко, В.А. Ивницкий, И.Н. Коваленко, А.А. Назаров, С.Г. Фосс, Б.С. Цыбаков и др.) и иностранных (Д. Бертсекас, Л. Клейнрок, Р.В. Купер, Т.Л. Саати, Х. Такаги, Дж. Уолдренд, М. Шварц и др.) авторов. Но при этом можно выделить ряд направлений, исследованных не в полной мере:

- существующие методы исследования сетей передачи данных в основном используют аппарат теории массового обслуживания, в частности, сети Джексона. В то же время для СОМ характерно использование общих каналов связи несколькими устройствами. Функционирование разделяемого канала рассмотрено в работах Р.В. Купера, А.А. Назарова, Т.Л. Саати, Х. Такаги, С.Г. Фосса, Б.С. Цыбакова, М. Шварца и др., однако не существует моделей, позволяющих описать совместное функционирование нескольких разделяемых каналов, объединенных в сеть передачи данных, и допускающих использование различных методов множественного доступа в рамках одного канала связи;
- в работах Р.В. Купера, С.Г. Фосса, Н.И. Черновой и др. рассмотрен механизм сбора данных «поллинг» (упорядоченный опрос) для устройств мониторинга с очередью сообщений. Однако в практике СОМ применяются также устройства без буфера памяти для организации очереди сообщений; для исследования таких систем не предложено адекватных моделей.

Поэтому математическое моделирование распределенных СОМ, направленное на устранение вышеперечисленных недостатков и пробелов, представляется актуальным направлением.

Объектом исследования являются информационные процессы возникновения и перемещения данных в системах оперативного мониторинга нефтегазодобывающих предприятий.

Предмет исследования – математическое и имитационное моделирование информационных процессов возникновения и перемещения данных в СОМ для получения их временных характеристик.

Целью работы является разработка и исследование математических моделей, позволяющих с достаточной адекватностью учесть характерные особенности различных классов СОМ. Применение таких моделей должно позволять находить временные характеристики СОМ: стационарные средние длину очереди, время ожидания, время пребывания в системе и др., необходимые для принятия обоснованных решений при проектировании СОМ.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи исследования**:

- анализ существующих концепций, моделей, технологий и подходов к созданию распределенных систем мониторинга, в том числе применительно к нефтедобывающей отрасли;
- классификация СОМ по признакам, важным для их моделирования;
- исследование применимости и разработка математических моделей для выделенных классов распределенных СОМ;
- построение информационной модели и алгоритмов для проведения имитационных экспериментов в соответствии с математической моделью СОМ;
- проектирование и разработка хранилища данных и программного обеспечения, обеспечивающих описание моделей СОМ, их исследование и анализ полученных результатов.

Методы исследования. При решении поставленных в работе задач использовались методы исследования из следующих областей науки: теория

вероятностей, теория случайных процессов, теория массового обслуживания (ТМО), теория реляционных баз данных.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложена математическая модель системы поллинга для случая применения устройств мониторинга без очередей сообщений; для модели в аналитической форме получены:
 - средний интервал между посещениями устройств;
 - процент времени, затрачиваемый на обслуживание устройства;
 - вероятность потери информации;
 - целевая функция для сравнения различных вариантов конфигурации СОМ между собой.
- разработана обобщенная математическая модель СОМ, в рамках которой благодаря синтезу моделей и подходов, предложенных ранее для отдельных классов СОМ, возможно учесть:
 - нестационарные входящие потоки информации;
 - сетевую топологию СОМ и неограниченное количество устройств;
 - области видимости и время задержки распространения сигнала между устройствами, использующими общий канал связи;
 - одновременное использование методов доступа к общему каналу из группы поллинговых либо случайного множественного доступа (СМД) в зависимости от устройства, времени, передаваемой информации;
 - различные маршруты движения информации в зависимости от устройства, времени, передаваемой информации;
 - возможность ветвления информационных потоков для доставки информации нескольким потребителям.

Теоретическая значимость работы заключается в систематическом рассмотрении задачи моделирования СОМ. Для этого была предложена классификация систем по значимым для моделирования признакам:

- по топологии СОМ: локальная система мониторинга; сеть, состоящая из объектов мониторинга и нескольких каналов связи, используемых монополюсно; несколько объектов мониторинга, для обмена информацией с которыми используется общий канал связи; сеть, состоящая из объектов мониторинга и нескольких общих каналов связи;
- по методу доступа к общему каналу: обход устройств сервером (поллинг); СМД; комбинация поллинга и СМД;
- по типу применяемых устройств мониторинга: с очередью сообщений; без очереди, с передачей текущих значений параметров.

В соответствии с классификацией для различных типов СОМ рассмотрена применимость существующих моделей, а при их отсутствии – предложены новые математические модели ТМО. Предложен единый подход к моделированию СОМ выделенных классов.

Практическая значимость работы обусловлена созданием математической модели, а также соответствующих ей информационной модели и набора имитационных алгоритмов, которые позволяют проводить исследования и рассчитывать временные характеристики широкого класса СОМ с произвольной архитектурой и достаточно сложными правилами функционирования.

Отметим, что разработанные модели и алгоритмы могут быть естественным образом дополнены новыми объектами и понятиями, что позволит применить полученные результаты для решения аналогичных задач в смежных областях.

Внедрение полученных результатов. На базе полученных моделей и алгоритмов была разработана подсистема моделирования и анализа, включенная в состав тиражируемого аппаратно-программного комплекса «Мт-Офис» инжинирингового предприятия ООО «МЕТА», г. Тюмень. В составе этого комплекса результаты работы были применены при решении задач оперативного мониторинга на предприятиях «Кама-Нефть» и «Урал-Ойл», входящих в состав ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь».

Достоверность и обоснованность полученных результатов определяется корректным и обоснованным использованием аппарата теории массового обслуживания и теории вероятностей. Адекватность предложенных математических и информационных моделей, а также работоспособность имитационных алгоритмов подтверждается согласованностью:

- результатов имитационных экспериментов и теоретических значений для некоторых известных моделей;
- результатов имитационных экспериментов и теоретических значений для предложенной модели поллинга без очередей сообщений;
- результатов имитационных и натурных экспериментов.

Положения, выносимые на защиту:

- математическая модель системы поллинга для случая применения устройств мониторинга без буфера памяти, позволяющая оценить временные характеристики и вероятность потери информации в данном типе СОМ;
- обобщенная математическая модель СОМ, позволяющая описать случаи сетевой топологии с применением разделяемых каналов связи при одновременном использовании различных методов доступа к ним;
- информационная модель и имитационные алгоритмы, предназначенные для описания обобщенных моделей СОМ, проведения имитационных экспериментов и анализа полученных результатов.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на следующих конференциях:

- II международная научно-техническая конференция «Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании», Тюмень, ТюмГНГУ, 2006;
- IV всероссийская научно-техническая конференция «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна», Тюмень, ТюмГНГУ, 2006;

- II международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в науке, образовании и производстве», Орел, ОрелГТУ, 2006;
- XI международная открытая научная конференция «Современные проблемы информатизации в прикладных задачах», Воронеж, ВорГТУ, 2006;
- XVII международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях», Кострома, КГТУ, 2004.

Публикации по теме работы. Основное содержание работы отражено в 13 публикациях, в том числе 2 статьи опубликованы в журналах из списка ВАК.

Личный вклад автора. Основные научные результаты работы получены автором самостоятельно. Программная реализация комплекса имитационного моделирования выполнена автором.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, библиографического списка из 228 наименований и 5 приложений, и содержит 1 таблицу и 43 рисунка. Общий объем работы 152 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность выбора темы диссертационной работы, охарактеризованы объект и предмет исследования, определены цель и задачи исследования. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** описаны основные задачи СОМ, проблемы, возникающие при их использовании, и проведен исторический обзор развития СОМ (п. 1.1). Обосновано применение методов теории массового обслуживания для моделирования СОМ. Предложена классификация по 4 наиболее значимым при моделировании характеристикам: топологии системы, методу доступа к общему каналу, наличию очередей в устройствах мониторинга, типу распределения длительности передачи сообщения. Выполнен обзор трудов различных организаций и независимых исследователей в области моделирования СОМ и более общих сетей передачи данных.

В научной и технической литературе широко освещены практические вопросы построения СОМ, например, М. Ф. Ализде проведен обзор истории развития контрольно-измерительных систем, В.Н. Костюковым проанализирована проблема мониторинга безопасности производства, А.Г. Мамиконовым описано проектирование СОМ, С.А. Николаевской проведено сравнение различных SCADA систем, В.В. Сахаровым, Э.Р. Галеевой, М.А. Слепян и др. описаны конкретные случаи применения систем. В работе М.В. Руденко осуществлено моделирование канального уровня систем мониторинга.

Более общая задача анализа сетей передачи информации широко освещена в литературе. Для ее решения обычно применяются методы ТМО (А.К. Эрланг и др.). Рядом авторов (Г.П. Башарин, Дж. Джексон, В.А. Ивницкий и др.) рассмотрены сети с монополярным использованием прибора обслуживания. Однако для СОМ характерно совместное использование каналов связи. Разнообразные алгоритмы СМД рассмотрены А.А. Боровковым, А.А. Назаровым, Б.С. Цыбаковым и др. Различным типам систем поллинга посвящены работы Р.Б. Купера, Л.Г. Афанасьевой, С.Г. Фосса.

В результате анализа предметной области удалось выявить три основные проблемы:

- описательно-прикладной характер большинства работ и отсутствие систематического подхода к моделированию СОМ;
- отсутствие адекватной модели для важного частного случая СОМ – использование поллинга и устройств мониторинга без очередей сообщений;
- отсутствие модели, пригодной для описания сложноустроенных СОМ с произвольной архитектурой топологии «сеть», разделяемыми каналами связи, устройствами мониторинга разных типов.

Вторая глава посвящена математическому моделированию различных классов СОМ с использованием известных моделей ТМО и разработке новых при отсутствии адекватных моделей.

В п. 2.1 приведены основные понятия и характеристики систем и сетей массового обслуживания. В п. 2.2 рассматриваются математические модели классов СОМ (в соответствии с классификацией, предложенной в главе 1). В п. 2.2.1 проанализированы модели простейших локальных СОМ, а именно $M/M/1$, $M/D/1$, $M/G/1$. Приведены условия стабильности таких систем, формулы для расчета их основных характеристик.

В п. 2.2.2 для класса СОМ с сетевой топологией и монопольным использованием каналов связи рассмотрена модель мультипликативных сетей массового обслуживания, известная как сеть Джексона. Приведены условия наличия стационарного режима и формулы для стационарного распределения состояний.

В условиях дефицита каналов связи обычно применяются СОМ с множественным доступом. В п. 2.2.3 рассмотрены методы СМД на примере алгоритма «синхронная АЛОНА». Описание некоторых других алгоритмов приведено в приложении 4. В п. 2.2.4 описаны 2 модели систем поллинга, в одной из которых обслуживающее устройство покидает очередь только после ее опустошения, а в другой – после истечения кванта времени обслуживания. Для моделей множественного доступа приведены условия стабильности. В п. 2.2.5 рассмотрена эффективность поллинговых и СМД методов при различных интенсивности входящего потока и количестве станций.

П. 2.2.6 посвящен поллинговым системам без очередей сообщений, не исследовавшимся ранее. Автором была модифицирована предложенная А.А. Боровковым и С.Г. Фоссом модель системы поллинга и рассмотрено 3 варианта схемы опроса. Дадим краткое описание одного из вариантов, основанного на матрице маршрутизации. Имеется d станций с вектором состояния j -й станции мониторинга $\xi_j(t) = (s_j^1(t), \dots, s_j^{n_j}(t))$, где s_j^i – контролируемые параметры. Станции посещаются обслуживающим устройством в соответствии с матрицей маршрутизации $P = \|p_{ij}\|$, $i, j = 1, \dots, d$; на переход между станциями тратится время v_{ij} . На передачу ξ_j требуется время

$T_j = c^{-1} \sum l_j^i$, где, c – скорость передачи данных, l_j^i – длина элемента s_j^i при его передаче. Получены аналитические формулы для основных характеристик этого класса СОМ в виде суммы ряда. Для выполнения приближенных расчетов с заданной точностью была разработана компьютерная программа.

Последовательность переходов обслуживающего устройства образует марковскую цепь $\{w_n\}$, где w_n – номер опрашиваемой станции после n -го перехода. Для решения задачи были введены дополнительное поглощающее состояние $w_n = d + 1$ и матрица $P_k = \|p_{ij}^k\|$, где k – номер станции, для которой вычисляем средний интервал между ее последовательными посещениями τ_k :

$$p_{ij}^k = \begin{cases} p_{ij}, & i \neq k \\ 0, & i = k, j \neq d + 1 \\ 1, & i = k, j = d + 1 \end{cases}$$

Вектор $\bar{\pi}^{(n)} = (\pi_1^{(n)}, \dots, \pi_{d+1}^{(n)})$ описывает вероятностное состояние системы после n -го перехода, где $\bar{\pi}_i^{(n)} = P(w_n = i)$. Тогда $\bar{\pi}^{(n)} = (\bar{\pi}^{(0)} P)(P_k)^{n-1} = \bar{\pi}^{(n-1)} P_k$, $\bar{\pi}_i^{(0)} = \begin{cases} 0, & i \neq k \\ 1, & i = k \end{cases}$.

Средний интервал времени τ_j между посещениями станции j имеет вид $\tau_j = \sum_{n=0}^{\infty} \tau^{n+1}$, где $\tau^{n+1} = \tau_{nep}^{(n+1)} + \tau_{обсл}^{(n+1)}$ – время работы со станцией на шаге $n + 1$, равное сумме времен перехода и передачи информации. Для перехода состояния из $\bar{\pi}^{(n)}$ в состояние $\bar{\pi}^{(n+1)}$ необходимо время $\tau_{nep}^{(n+1)} = \sum_{i=1}^d \left(\bar{\pi}_i^{(n)} \sum_{j=1}^d (p_{ij}^k v_{ij}) \right)$, а обслуживание в состоянии $\bar{\pi}^{(n+1)}$ займет время $\tau_{обсл}^{(n+1)} = \sum_{i=1}^d \bar{\pi}_i^{(n+1)} T_i$. Тогда $\tau_j = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^d \left(\bar{\pi}_i^{(n)} \sum_{j=1}^d p_{ij}^k v_{ij} + \bar{\pi}_i^{(n+1)} T_i \right)$.

Для проверки изложенной методики рассчитывалось среднее количество шагов E_j между посещениями станции j в виде $E_j = \sum_{i=1}^{\infty} i \bar{\pi}_j^{(i)}$. Известно, что $E_j = \pi_j^{-1}$, где π_j – координата вектора π стационарного распределения вероятностей состояний системы, $\pi = \pi P$. Расчеты на ЭВМ показали, что для возвратных состояний j $E_j = \pi_j^{-1}$, т.е. соответствует теоретическому значению.

Доля времени η_j , затрачиваемая на обслуживание станции j , равна

$$\eta_j = \frac{(T_j + v_{*j})\pi_j}{\sum_{i=1}^d (T_i + v_{*i})\pi_i}, \quad \text{где} \quad v_{*j} = \frac{\sum_{i=1}^d \pi_i P_{ij} v_{ij}}{\sum_{i=1}^d \pi_i P_{ij}}.$$

Вероятность потери информации об изменениях состояния s_j^i за интервал времени τ_j , при условии простейшего потока событий с параметром λ_j^i от каждого s_j^i , определится как $P^i(\tau_j) = 1 - (P_0^i(\tau_j) + P_1^i(\tau_j)) = 1 - e^{-\lambda_j^i \tau_j} (1 + \lambda_j^i \tau_j)$.

Вероятность потери информации по станции j $P(\tau_j) = 1 - \prod_{i=1}^{n_j} (P_0^i + P_1^i)$.

Для решения задачи минимизации потерь информации с учетом значимости последней для СОМ была введена целевая функция. Пусть для каждого s_j^i определена его значимость V_j^i . Тогда $F = \sum_{j=1}^d F_j = \sum_{j=1}^d \sum_{i=1}^{n_j} V_j^i P^i(\tau_j)$.

Однако в СОМ интервалы времени между изменениями s_j^i часто не являются независимыми случайными величинами, что снижает возможность практического применения целевой функции. На этапе проектирования СОМ обычно достаточно найти интервалы τ_j . Поэтому в работе не решались задачи подбора коэффициентов значимости V_j^i и поиска минимума целевой функции F , хотя и предложено применять F для сравнения различных вариантов СОМ.

В п. 2.2.7 предложена новая математическая модель, в рамках которой благодаря обобщению и синтезу моделей и подходов, используемых для отдельных классов СОМ, возможно применение: нестационарных входящих потоков информации; сетевой топологии СОМ и неограниченного количества устройств; областей видимости и времени задержки распространения сигнала между устройствами, использующими общий канал связи; методов доступа из группы поллинговых либо СМД к общему каналу в зависимости от устройства, времени, передаваемой информации; различных маршрутов информации в зависимости от устройства, времени, передаваемой информации; ветвления информационных потоков для доставки информации нескольким потребителям.

Третья глава посвящена практическому применению предложенной во 2-й главе обобщенной математической модели COM. В п. 3.1. рассматривается пошаговое построение информационной модели COM. Кратко приведены основные понятия теории реляционных баз данных. Для изображения информационной модели используются диаграммы «сущность»-«связь» в нотации IDEF1X. В информационной модели, изображенной на рис. 1 отражены все объекты и связи между ними, входящие в математическую модель.

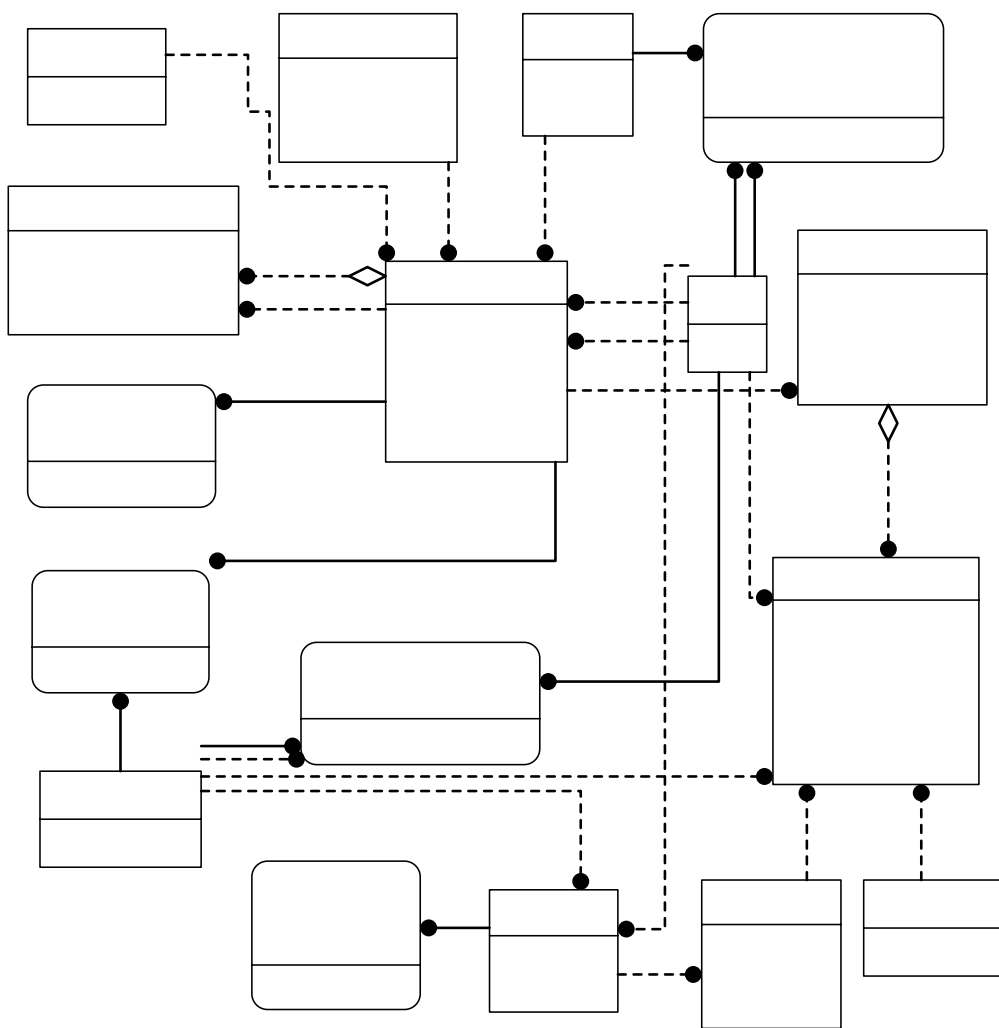


Рисунок 1. Информационная модель распределенной COM.

Дадим некоторые пояснения в виде объекта модели и названия отношения: каналы связи (Channel); станции, или Remote Terminal Unit (RTU); задержки распространения сигнала в канале между станциями (RTU_Channel_Visible);

параметры s_j^i (Source); интенсивность потока $\lambda_j^i(t)$ (f); изменения s_j^i (Message); маршруты - ребра сети передачи данных (Route); режимы множественного доступа (Route_Mode); $P = \|p_{ij}\|$ (Markovian_Polling_P); протоколы передачи данных (Protocol); периоды покоя маршрутов (Route_Sleep_Time); сообщения (Event); стадии обработки сообщений (Event_Type); классы сообщений (Source_Class); классы сообщений, передаваемых определенным маршрутом (Route_s_Class), классы новых сообщений, создаваемых при поступлении на станцию сообщения определенного класса (RTU_s_class_change); сеансы связи (Exchange).

На практике COM обычно содержат множество схожих объектов, индивидуальное описание которых делает процесс использования информационной модели достаточно трудоемким. Для его упрощения принято решение расширить информационную модель и ввести типы объектов, выделив общие атрибуты в отдельные отношения. Были определены следующие отношения: тип каналов Channel_Type; тип станций RTU_Type; тип параметров Source_Type; тип маршрутов Route_Type, тип интенсивности потока f.

Полученная информационная модель может быть применена для исследования обобщенной математической модели COM. Однако для практического применения представляет неудобство тот факт, что с помощью информационной модели может быть проведен только один имитационный эксперимент с единственной моделью. Для преодоления этого недостатка введены отношения Model и Simulation для хранения списков существующих моделей и имитационных экспериментов соответственно.

Для хранения необходимой промежуточной информации были введены отношения: Sim_RTU_Channel_State (текущая информация о состоянии каналов, имеющаяся у RTU); Sim_RTU_Channel_State_Update (информация о необходимости обновить данные в Sim_RTU_Channel_State в связи с истечением задержки распространения сигнала). Это дает возможность в любой момент приостановить имитационный эксперимент либо перейти от одного

эксперимента к другому. На рис. 2 представлена схема итоговой информационной модели. Всего п. 3.1 содержит 13 диаграмм «сущность-связь», две из которых представлены в автореферате.

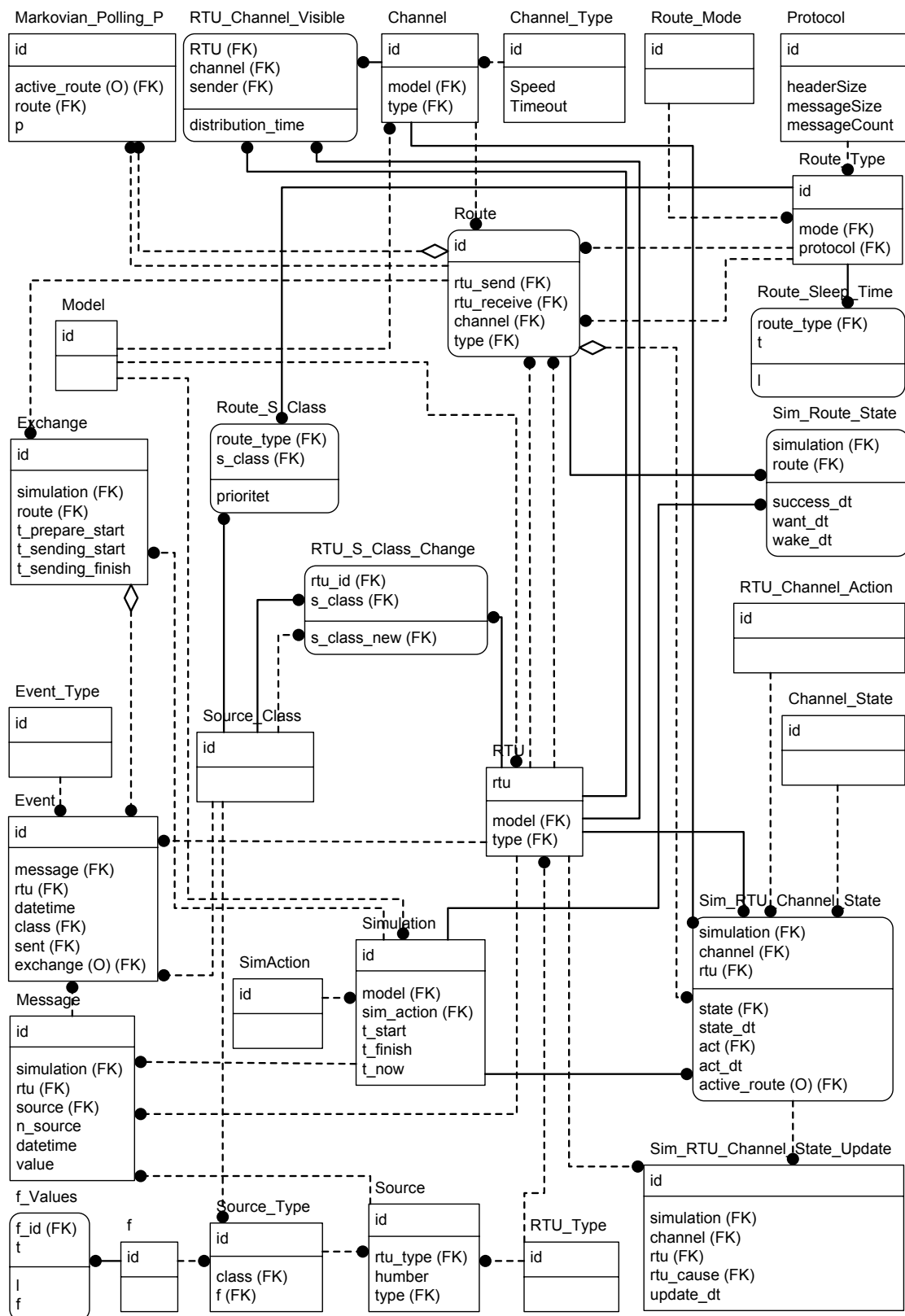


Рисунок 2. Итоговая информационная модель COM.

В п. 3.2 описаны алгоритмы, реализующие имитационный эксперимент с информационной моделью. Воспроизведение процесса функционирования системы массового обслуживания на ЭВМ фактически состоит в получении вектора состояний системы в некоторые дискретные моменты времени $\tau_i, i \geq 0$. В п. 3.2.1 рассматриваются 2 подхода к выбору моментов τ_i . При первом из них, называемом способом « $\Delta\tau$ », моменты τ_i являются неслучайными и $\tau_i = \tau_{i-1} + \Delta\tau$, где $\Delta\tau$ – некоторый заранее выбранный интервал, такой, что возможностью более чем одного изменения состояния за время $\Delta\tau$ можно пренебречь. Вторым подход, называемый способом «особых состояний», состоит в том, что значения τ_i являются случайными, моделируются на ЭВМ и при этом обладают тем свойством, что вектор состояний системы изменяется лишь в моменты τ_i .

В работе имитационный эксперимент разделен на 2 этапа: имитация входного потока и имитация передачи сообщений. На 1-м этапе для выбора моментов имитации используется способ « $\Delta\tau$ », на 2-м – способ «особых состояний». Это объясняется тем, что на этапе передачи сообщений мы уже можем выделить точки, в которых может измениться состояние системы. Это моменты возникновения сообщений, а также моменты изменения состояния канала (с учетом задержки распространения сигнала), начала или окончания определенной активности по маршруту.

П. 3.2.2 посвящен этапу генерации сообщений и содержит три схемы алгоритмов. В п. 3.2.3 описаны основные алгоритмы, используемые при имитации передачи сообщений, которые можно разделить на следующие группы: принятия решений о начале или прекращении действия, изменения состояния маршрута и канала, создания и изменения сообщений, проверки отсутствия коллизий при передаче, изменения модельного времени.

П. 3.2.3 содержит 11 схем алгоритмов, которые, как и в п. 3.2.2, содержат 2 варианта описания каждого шага: текстовое и на языках Pascal либо T-SQL. В качестве примера на рис. 3 и 4 приведены схемы 1-го и 2-го этапов.

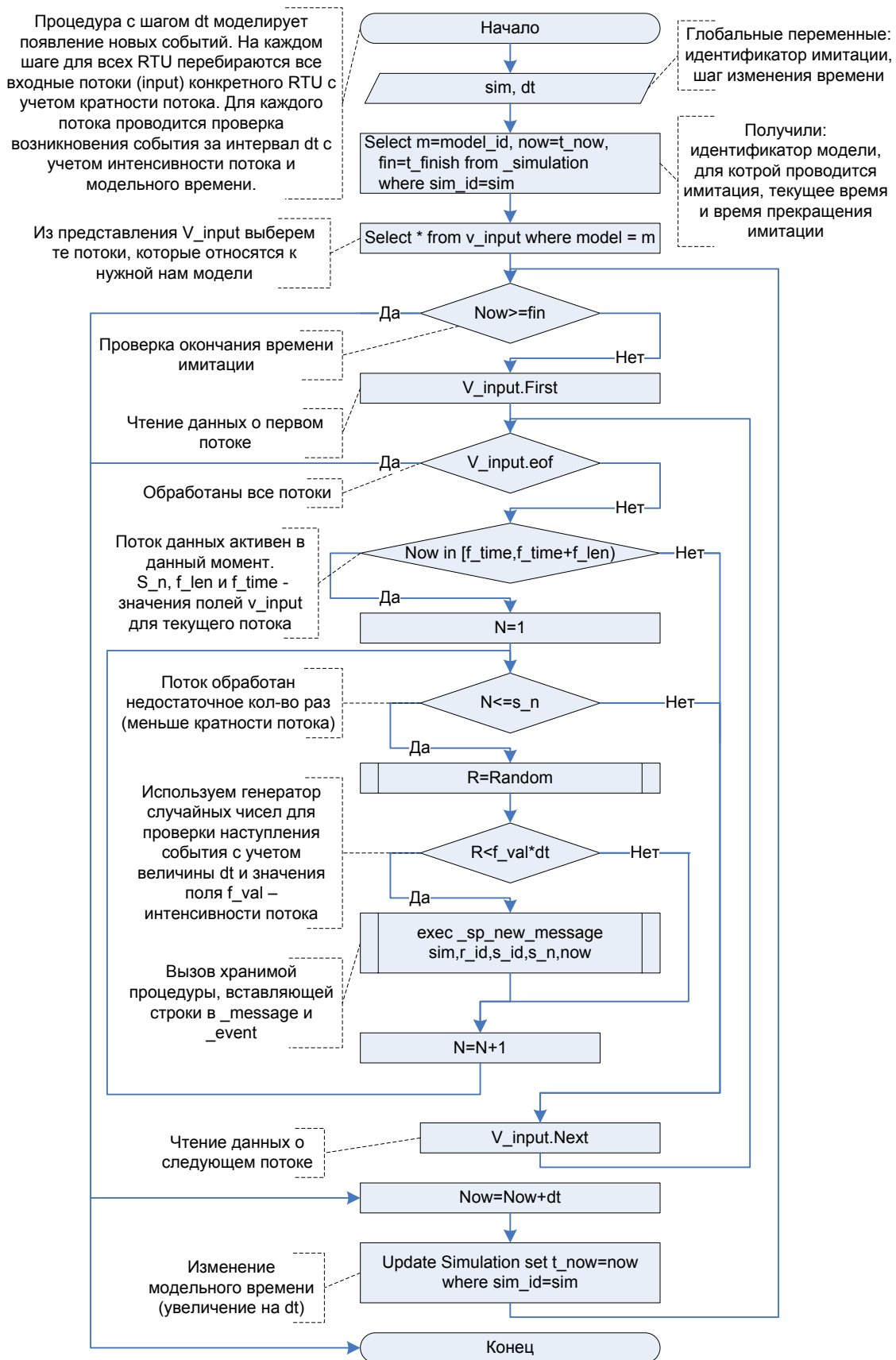


Рисунок 3. Блок-схема верхнего уровня этапа создания сообщений.

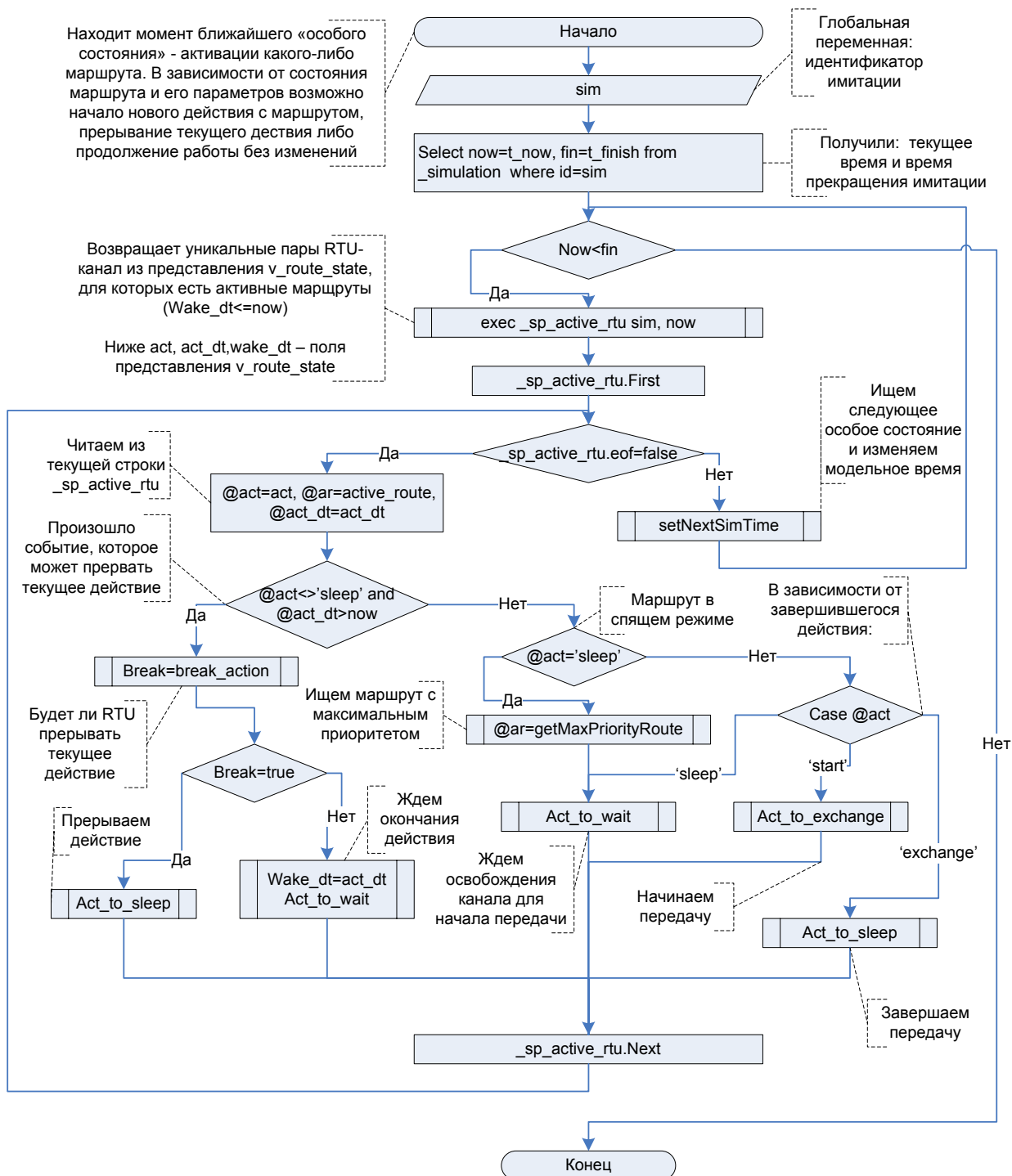


Рисунок 4. Блок-схема верхнего уровня этапа передачи данных.

В п. 3.3 рассмотрена задача обработки результатов имитационного эксперимента. Приведены формулы для расчета средних значений времени ожидания, количества сообщений в очереди, использования канала. Приведены диаграммы динамики изменения показателей за время моделирования, позволяющие оценить стационарность работы COM, а также диаграммы

полученных средних значений в сравнении с аналитическими результатами при различных интенсивностях входящего потока сообщений на модели $M/D/1$. В качестве примера на рис. 5 приведена диаграмма среднего времени ожидания при различных значениях ρ , $\mu = 1$.

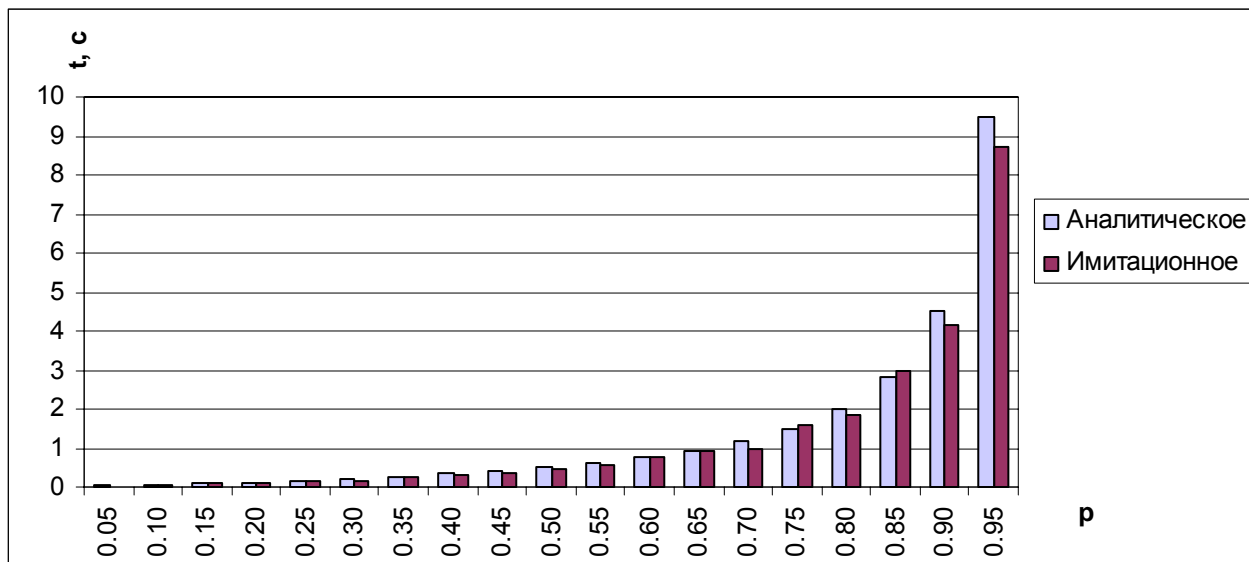


Рисунок 5. Блок-схема верхнего уровня этапа передачи данных.

Работа включает 5 приложений, в которых приведены: описание таблиц и представлений базы данных; описание некоторых известных методов множественного доступа; описание компьютерной программы для выполнения расчетов в соответствии с моделью поллинга без очередей сообщений; результаты имитационных экспериментов в сопоставлении с теоретическими (на примере СМО $M/D/1$, СМД «асинхронная АЛОНА», системы поллинга с переходом после опустошения очереди) либо экспериментальными данными, подтверждающие адекватность предложенных моделей и алгоритмов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

- предложена классификация СОМ, в соответствии с которой систематизированы подходы ТМО к моделированию СОМ;
- предложена и исследована новая математическая модель для случая поллинговой СОМ, использующей устройства мониторинга без очередей сообщений;

- предложена новая обобщенная математическая модель, позволяющая анализировать функционирование СОМ с произвольной архитектурой и достаточно сложными правилами функционирования, что позволяет, в том числе, моделировать высокоэффективное совместное использование поллинговых и СМД методов доступа к разделяемому каналу;
- разработана информационная модель, соответствующая обобщенной математической модели СОМ;
- разработана группа проблемно-ориентированных алгоритмов, обеспечивающих в сочетании с информационной моделью реализацию имитационных экспериментов;
- спроектированы и реализованы хранилище данных и программный комплекс для описания моделей СОМ, их исследования и анализа полученных результатов;
- результаты применены при разработке тиражируемого аппаратно-программного комплекса оперативного мониторинга и использованы при решении задач мониторинга на предприятиях «Кама-Нефть» и «Урал-Ойл», входящих в состав ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь».
- разработанные модели и алгоритмы могут быть естественным образом дополнены новыми объектами и понятиями, что позволит применить полученные результаты для решения подобных задач в смежных областях.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Охотников Е.С. Математические модели систем оперативного мониторинга технологических процессов нефтегазодобывающих предприятий // Вестник ТюмГУ. - Тюмень: издательство ТюмГУ, 2006. - №7. - С. 80-92.
2. Охотников Е.С. Математическое моделирование распределенных систем мониторинга в нефтегазодобывающей сфере // Вестник ТюмГУ. - Тюмень: издательство ТюмГУ, 2006. - №5. - С. 240-245.

3. Охотников Е.С. Системы мониторинга технологических процессов нефтегазодобывающих предприятий: классификация и математическое моделирование // Нефтегазовое дело [Электронный ресурс] / УГНТУ – Уфа : www.ogbus.ru, 2006. – Режим доступа : http://www.ogbus.ru/authors/Okhotnikov/Okhotnikov_1.pdf.
4. Охотников Е.С. Модели систем мониторинга технологических процессов в нефтедобыче // Информационные технологии моделирования и управления. - Воронеж: Научная книга, 2006. - №8. - С. 1049-1056.
5. Охотников Е.С. Моделирование распределенных систем мониторинга в нефтедобыче // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна: материалы 4-й Всероссийской научно-технической конференции. - Тюмень: Вектор Бук, 2006. - С. 92-95.
6. Охотников Е.С. Математическое моделирование распределенных систем мониторинга в нефтегазодобывающей сфере // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: материалы 2-й международной научно-технической конференции. Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2006. - С. 144-146.
7. Охотников Е.С. Математическое моделирование распределенных систем мониторинга в нефтегазодобывающей сфере // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП): материалы международной научно-технической конференции. - Орел: ОрелГТУ, 2006. - Т.4. - С. 158-162.
8. Охотников Е.С. Математическое моделирование распределенных систем мониторинга в нефтегазодобывающей сфере // Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. - Тюмень: Вектор Бук, 2006. - Вып. 8. - С. 152-158.
9. Охотников Е.С. Модель распределенной автоматизированной системы управления технологическими процессами добычи нефти и газа //

Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. - Тюмень: Вектор Бук, 2004. - Вып. 6. - С. 172-181.

10. Охотников Е.С. Распределенная многоуровневая автоматизированная система управления процессами нефтедобычи // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-17: Сб. трудов XVII Международ. науч. конф. - Кострома: Изд-во Костромского гос. технол. ун-та, 2004. - Т.6. - С. 153-156.
11. Охотников Е.С. Проектирование специализированного языка для описания алгоритмов автоматического управления // Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. - Тюмень: Вектор Бук, 2005. - Вып. 7. - С. 210-217.
12. Охотников Е.С. Проектирование специализированного языка для описания алгоритмов подсистемы автоматизированного управления технологическими процессами // Современные проблемы информатизации в прикладных задачах: Сб. трудов. - Воронеж: Научная книга, 2006. - Вып. 11. - С. 94-96.
13. Охотников Е.С. Проектирование программного обеспечения подсистемы контроля данных для автоматизированной системы управления технологическими процессами добычи углеводородного сырья // Лучшие выпускные квалификационные работы 2003 года: сборник статей. Ч I. - Тюмень: издательство ТюмГУ, 2003. - С.20-23.