

На правах рукописи

**Руденко Максим Владимирович**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА КАНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ  
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

05.13.06 – автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами (нефтегазовая отрасль, технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Тюмень – 2005

Работа выполнена на академической кафедре Технической кибернетики Тюменского государственного нефтегазового университета и Тюменского научного центра СО РАН.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Валерий Алексеевич Шапцев

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Валерий Васильевич Лебедев

кандидат технических наук, доцент  
Сергей Михайлович Каратун

Ведущая организация: ОАО «Гипротюменнефтегаз»

Защита состоится 17 июня в 14.00 на заседании диссертационного совета Д212.273.02 при Тюменском государственном нефтегазовом университете по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тюменского государственного нефтегазового университета по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_

Ученый секретарь  
диссертационного совета, д.т.н.

С.И. Челомбитко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** При организации мониторинга техпроцессов в НГК, несмотря на большое многообразие используемых сред распространения сигналов и каналообразующего оборудования, значительная часть автоматических линий сбора данных отсутствует. Часто данные поступают на бумажном носителе, по факсу, по телефону. В связи с этим имеют место проблемы: неполнота, недостоверность, запаздывание критичной оперативной информации; высокая роль человеческого фактора в принятии решений.

Ситуацию можно объяснить, в частности, ограниченностью квалификации специалистов соответствующих служб при решении задач выбора и настройки систем связи в процессе эксплуатации, обеспечения надежности и качества их работы. Не весь спектр задач, связанных с применением каналообразующей техники, специалисты НГК могут решать с одинаковой эффективностью. Например, наблюдается слабое использование КВ-каналов для организации системы мониторинга распределенных техпроцессов. В тоже время имеются промышленные образцы датчиков с передающей аппаратурой, ориентированной на КВ (например, в ОНИИП, г.Омск). Для их широкого использования нужна мобильная поддержка настройки (выбора параметров) каналообразующих модулей.

Сегодня эти задачи решаются в замедленном темпе: вызовом специалистов связи или многоэтапно, с использованием локально ориентированного и разрозненного математического обеспечения. Для улучшения ситуации **необходим** инструмент, позволяющий специалистам НГК самим «собирать» необходимое математическое обеспечение из совокупности доступных алгоритмов и моделей. Такой инструмент нужен как расширение функций АСУ верхнего уровня (систем типа SAP R/3) в сторону формирования компьютерной инфраструктуры поддержки деятельности специалистов по организации и обеспечению мониторинга техпроцессов в производственных комплексах НГК. Соответствующие специалисты – востребованы, а разработка инструмента поддержки их деятельности – актуальна.

**Состояние проблемы.** При проектировании математического обеспечения в мире укрепился принцип модульности. При этом в процессе создания программной системы определяется «множество элементов, необходимых и достаточных для решения требуемых задач ...» [А.Г. Мамиконов, В.В. Кульба]. Рассматриваемый нами процесс мониторинга – прежде всего процесс циркуляции данных в АСУТП НГК, т.е. информационный процесс (ИП) [Б.Я. Советов, В.М. Стах]. Поэтому множество элементов, на базе которого проектируется математическое обеспечение для канальных модулей систем мониторинга, является

структурным подмножеством множества компонентов, охватываемых понятием «информационный процесс». При разработке инструмента поддержки синтеза необходимого математического обеспечения необходимо учитывать, как минимум: (а) современные представления о существе ИП в АСУТП НГК; (б) тенденции эволюции средств математического и компьютерного моделирования ИП; (в) тенденции интеллектуализации пользовательского интерфейса средств моделирования.

(а) Ранее особое внимание вопросу о структуре ИП в НГК не уделялось. Интенсивное же развитие информатики и средств связи вызывает динамику этого понятия. Мы наблюдаем его эволюцию от определений, данных С.А. Бешенковым, Е.А. Ракитиной, М.П. Лапчиком и др., к результатам, изложенным у Л.Ф. Куликовского и В.В. Мотова; Н.А. Кузнецова, В.А. Любецкого, А.В. Чернавского, А.Я. Фридланда. Однако в работах этих специалистов не затрагиваются особенности ИП в НГК. Их мы встречаем, например, у Б.Я. Советова и В.М. Стаха. Однако предстоит расширение декомпозиции ИП с учетом, в частности, появления интеллектуальных компонентов и средств жизнеобеспечения ИП.

(б) Вычислительная информатика стала действенным инструментом познания во всех сферах деятельности: создана фабрика машинного времени [В.П. Ильин], доступны вычислительные ресурсы (кластеры, суперкомпьютеры и пр.) и моделирующие программы (MATLAB, Maple и др., библиотеки моделей на их основе). Однако вопросы: (1) «какой должна быть архитектура вычислительной системы, инструментальных и прикладных программных комплексов?» и (2) «как на существующем техническом и программном обеспечении решать большие задачи?», активно обсуждаемые, например, еще в коллективе академика Н.Н. Яненко (80-е гг. XX-го века), остаются открытыми до сих пор. Новые возможности вычислительной техники и потребности ИТ-отрасли (например, появились интерфейсы к универсальным средствам моделирования) заставляют искать новые ответы на старые вопросы, по меньшей мере, в рассматриваемой сфере «ИП НГК».

(в) Вопрос об интеллектуализации пользовательского интерфейса впервые поставлен в 1968г. Г.И. Марчуком и А.П. Ершовым. С тех пор утвердился подход к автоматизации программирования с помощью библиотек стандартных программ [Э.З. Любимский, И.В. Поттосин, М.Р. Шура-Бура]. «С конца 70-х годов весьма стремительно развиваются и внедряются в практику интеллектуальные пакеты прикладных программ (ИППП)» [Д.А. Поспелов]. Однако созданные программы ориентированы на получение конкретных прикладных результатов. Между тем уровень развития информационного общества и насыщенность отрасли информационными процессами и системами позволяет требовать от специалистов НГК самостоятельно конструировать (формировать)

необходимые проблемно-ориентированные компьютерные инструменты решения производственных задач, касающихся канальных компонентов, в частности.

**Цель работы.** Разработка компьютерного инструментария синтеза математического обеспечения для канальных модулей системы мониторинга ТП НГК, использующей среды передачи с переменным затуханием.

**Основные задачи исследования.** Для достижения поставленной цели потребовалось:

1. Обосновать репрезентативное множество модулей, отображение которых в виде моделей создаст адекватную базу моделирования канальных компонентов системы мониторинга ТП НГК.
2. С учетом современного состояния информатики выработать критерий качества для оценки средств работы с полученным множеством модулей, учитывающий адекватные требования к проектируемому инструментарию в сфере НГК.
3. Разработать отвечающий выработанным требованиям компьютерный инструментарий, ориентированный на профессиональный уровень специалиста НГК.
4. Разработать на базе инструментария математическое обеспечение для анализа канального модуля, обеспечивающего заданное качество передачи данных по КВ-каналу в мониторинге техпроцессов НГК.

**Методы решения задач.** Для решения перечисленных задач применены: аналитическое исследование публикаций; теоретические и технические основы информатики и АСУ ТП в НГК; системный анализ; численное и имитационное моделирование; теория связи, линейная алгебра, включая кронекеровскую алгебру матриц; программирование на языках java, javascript, actionscript и в среде MATLAB.

**Научная новизна работы:**

1. Предложена обобщенная модель информационного процесса как минимальное множество модулей-моделей, используемых при идентификации, анализе, исследовании канальных модулей системы мониторинга ТП НГК. В модели впервые отражены интеллектуальные компоненты и компоненты жизнеобеспечения ИП.
2. Впервые разработана архитектура сетевой технологии, обеспечивающей использование нового вида контента – моделей и алгоритмов компонентов информационного процесса – для организации решения прикладных задач при построении систем мониторинга ТП НГК.
3. Впервые программно реализована процедура совместного решения системы двух известных неравенств, использующая точное выражение для вероятности ошибочного приема блока символов и позволяющая определять характеристики помехоустойчивого кода по физическим

параметрам канала связи с переменным параметром с учетом ограничений на качество передачи, характерных для НГК.

4. Впервые исследована сложность задачи вычисления вероятности двоичного вектора ошибки в канале с переменным параметром; предложены оригинальные алгоритмы, ускоряющие вычисления.

**Практическая ценность работы и внедрение ее результатов.** Разработанные на базе ВСИИП математические методы и алгоритмы могут быть использованы при проектировании и анализе линий связи со случайной структурой в комплексах автоматического мониторинга промысловых территорий.

Применение разработанного инструментария рекомендовано при организации единой инфосреды производства, науки и образования, в первую очередь, организациям, занимающимся исследованиями и разработками на базе готовых моделей-модулей. К их числу относятся научные и проектные организации НГК. Принято решение об использовании инструментария ВСИИП в ТюмГНГУ в виде центра коллективного пользования (Акт внедрения от 26 апреля 2005 года).

**Апробация работы.** Основное содержание диссертационной работы доложено на конференциях и семинарах:

- обл. науч.-метод. конф. «Информационные технологии в образовательном процессе» (Тюмень, апрель 2002г.);
- междунар. науч. конф. «Компьютерная математика в фундаментальных и прикладных исследованиях и образовании» (Минск, сентябрь 2002г.);
- обл. науч.-метод. конф. «Роль информационных технологий в обучении: проблемы, перспективы, решения» (Тюмень, март 2003г.);
- междунар. науч.-техн. конф. «Компьютерное моделирование 2003» (Санкт-Петербург, июнь 2003г.);
- междунар. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в нефтегазовой промышленности и энергетике» (Тюмень, октябрь 2003г.);
- обл. науч.-практ. конф. «Информационные технологии в образовании» (Тюмень, май 2004).

Различные аспекты работы обсуждались на заседаниях научного семинара «Интеллектуальные информационные системы» ТюмГУ (Тюмень, 2003-2004 гг.) и в СибГУТИ (Новосибирск). Всего по теме работы опубликовано 8 работ, в том числе 2 статьи, 6 тезисов докладов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка используемой литературы, включающего 98 наименований. Общий объем работы: 122 страницы текста, 26 рисунков, 23 таблицы.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Разработанная обобщенная модель информационного процесса отражает современные представления о нем в теории связи, в информатике и системологии и позволяет дополнить базу моделирования канальных

компонентов системы мониторинга ТП НГК интеллектуальными блоками и блоками жизнеобеспечения.

2. Разработанная и реализованная архитектура виртуальной сетевой среды на базе on-line-доступа к комплексу серверов, включая сервер MATLAB, обеспечивает эффективное построение канальных модулей систем мониторинга ТП НГК и использование специализированного программного обеспечения АСУТП, содержащего модели и алгоритмы компонентов информационных процессов.

3. Созданное программное обеспечение вычисления параметров кода, использующее точное выражение для вероятности ошибочного приема блока двоичных символов, позволяет получать результат непосредственно по заданным характеристикам физического коротковолнового канала связи и исходя из требуемого качества передачи технологических данных.

4. Разработанный и реализованный алгоритм вычисления вероятности появления двоичного вектора ошибок, уменьшающий количество суммируемых вероятностных характеристических функций Лапласа, позволяет, как минимум на порядок уменьшить сложность соответствующих расчетов при сохранении точности на уровне 90%.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, приведены данные по апробации результатов.

В **первом разделе – ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ** – формируется обобщенная модель информационных процессов (ОМИП) и с ее помощью – множество объектов, на базе которых функционируют канальные модули системы мониторинга НГК. Анализируются современные компьютерные технологии, способные работать с обозначенным множеством объектов, выявляются их ограничения, обосновывается необходимость разработки новой технологии, формируются требования к качеству такой технологии.

В **подразделе 1.1** осуществлена декомпозиция понятия «информационный процесс», что привело к формированию ОМИП в виде минимум 24-х элементарных традиционных и оригинальных компонентов (табл. 1).

Таблица 1: Сводная таблица компонентов ИП

№	Наименование компонента ИП	№	Наименование компонента ИП
<b>Система «восприятие»</b>			
1	Интерфейс с внешним миром: сенсоры, датчики	6	Декодер канала
2	Сигнальный фильтр	7	Декодер источника (включая

			ЦАП)
3	Управление фильтром и сенсорами	8	Преобразователь кода
4	Демодулятор	9	Подсистема синхронизации
5	Процессор сигнала	10	Подсистема жизнеобеспечения
<b>Система «интерпретация»</b>			
11	Модель внешнего мира	15	Формирование запроса рецептивной системе
12	Распознавание ситуаций	16	Память воздействий (реакций)
13	Принятие решения	17	Подсистема жизнеобеспечения
14	Формирование реакции		
<b>Система «передача»</b>			
18	Преобразователь кода	23	Генератор синхросигналов
19	Кодер источника (включая АЦП)	24	Выходной фильтр
20	Кодер канала	25	Подсистема жизнеобеспечения
21	Формирующий фильтр	26	Сопряжение с внешним миром (исполнительные механизмы)
22	Модулятор		

В *подразделе 1.2* осуществлена формализация представления каналообразующего оборудования системы мониторинга ТП НГК компонентами ОМИП (табл. 2). При этом для дальнейшего рассмотрения в качестве примера выбрана часть системы мониторинга – канал передачи данных по среде с переменным параметром.

Таблица 2: Компоненты ОМИП в системе мониторинга ТП НГК

<b>Компоненты ОМИП</b>	<b>Технология</b>
1, 26	RS232, RS484, иес 61158-2, иеее 802.3, RG-6U, ISO 11898
6, 20	Проверка на четность, манчестерский, циклический код, код Хэмминга, Витерби-декодирование, 2B1Q, AMI, CMI, HDB3, NRZ, NRZI, NR
8, 18	TDMA, CSMA/CD, CSMA/CR, передача маркера, передача виртуального маркера, централизованное состязание за линию, доступ на основе планирования, сжатие данных, циклический опрос, CDMA
4, 22	FSK, ASK, PSK, QPSK, QAM, TCM, ИКМ, модуляция разделенной несущей, DMT, CAP, CERM, FM
2, 24	TDM, FDM
7, 19	Вокодеры (G.711, G.723, G.729A), скремблеры
2, 3	Эквалайзеры, эхокомпенсаторы
2-5, 21, 22, 24	НЧ/ВЧ преобразование

Замечено, что эти компоненты (табл. 2) рассматриваются теорией передачи дискретных сообщений – дисциплиной, не содержащейся в ГОС ВПО нефтегазовых специальностей. Поэтому наблюдается неравномерность компетенции специалистов по компонентам ИП. По ТюмГНГУ, в частности, получена следующая картина, представленная в виде гистограммы на рис. 1.

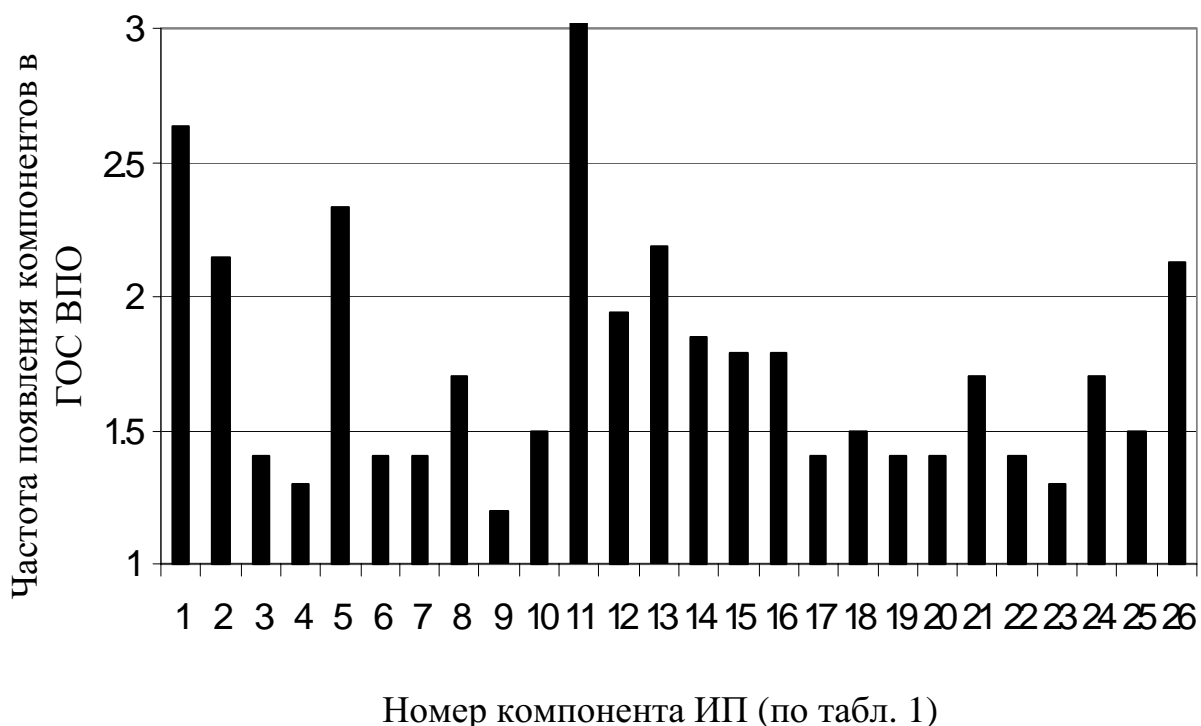


Рис. 1. Неравномерность компетенции специалистов инженерных специальностей ТюмГНГУ по компонентам ИП

В *подразделе 1.3* отмечается, что для обеспечения работы с выявленными объектами адекватно использовать: (1) современные средства организации виртуальных лабораторий (ВЛ); (2) систему MATLAB. Однако, распространенным средствам создания ВЛ свойственен ряд ограничений:

1. При наличии множества моделей доступ к ним вне среды, в которой они разработаны, отсутствует.
2. Открытость ядер универсальных средств моделирования не используется для расширения возможностей ВЛ и их продуктов.
3. Среди современных средств создания ВЛ, ориентированных на исследование/освоение средств передачи данных, нет доступных специалистам ТП НК.

4. Возможность широкого распространения средств создания ВЛ и их продуктов в рассматриваемой предметной области ограничена по разным, в том числе перечисленным причинам.

В системе MATLAB существенно меньше препятствий для формализации моделей объектов табл. 2 и их моделирования. Она имеет интерфейс, позволяющий задействовать ее функциональность через Интернет. Это позволяет говорить об этой системе как о средстве создания ВЛ. Однако использование этого интерфейса потребует от специалиста НГК дополнительных знаний и умения программировать.

На основе анализа выявленных ограничений в существующих средствах работы с компонентами ИП и проблематики мониторинга распределенных ТП НГК в *подразделе 1.4* обоснованы следующие показатели требуемого, создаваемого в работе инструмента: (1) полнота базы моделирования; (2) возможность ее расширения пользователем; (3) доступность средств разработки и исследования канальных компонентов через Интернет; (4) доступность для многократного использования существующих и вновь создаваемых моделей и алгоритмов работы канальных компонентов через Интернет; (5) достаточная точность расчетов на уровне научного ПО. Эти показатели аддитивно объединены в функцию оценки качества инструмента с весами, оцененными совместно с экспертами. Показано, что, если перечисленные показатели станут свойствами инструментария, то он будет как минимум в полтора раза эффективнее существующих в смысле принятого критерия качества. В завершении подраздела перечислены задачи, которые должны быть решены в процессе создания такого инструмента, ориентированного на специалистов НГК.

Во **втором разделе – теоретические основы ВСИИП** (виртуальной среды исследования ИП) – уточняются требования к компьютерному инструменту, способному работать как минимум с объектами, перечисленными в табл. 1 и 2, и быть «дружественным» специалисту (технологу) АСУ ТП НГК. Представлена концепция ВСИИП совокупностью ее физической, логической и функциональной структур. Описывается созданный макет инструмента, представлен сценарий работы с ним, обосновывается встраиваемость инструмента в АСУ ТП НГК верхнего уровня.

В *подразделе 2.1* обосновывается целесообразность формирования виртуальной среды по принципу организации коллективного доступа к ядрам стандартных средств моделирования (типа MATLAB) и базам моделей. Технология работы виртуальной среды обеспечивает отображение и прогон функционально связанной совокупности объектов из ОМИП, собранных для решения конкретной задачи, сформулированной в свою очередь на одном из пользовательских рабочих мест посредством специализированного интерфейса.

В *подразделе 2.2* конкретизируется проблемная область, которую покрывает ВСИИП. Выделено 19 типов задач, решение которых требует ее применения. При этом пользователь оперирует моделями объектов из табл.2. Перечень моделей открыт. Множеством объектов, доступных во ВСИИП, является совокупность моделей процессов, явлений, устройств, которые появляются при решении как оговоренных в подразделе, так и появившихся в будущем задач. Методами решения задач во ВСИИП являются численное и имитационное моделирование с использованием в потенциале любых универсальных пакетов моделирования, встраиваемых в среду типовым способом.

Для формирования архитектуры ВСИИП в *подразделе 2.3* рассмотрены гипотетические сценарии взаимодействия с ней в процессе решения некоторых прикладных задач. Рассмотрены: этапы создания моделей сложных объектов, планирования и проведения имитационного эксперимента; задача изучения процесса передачи данных; задача интеграции ВСИИП в инфосреды производства, науки и образования; организация интеллектуального диалога пользователя с ВСИИП. В результате получен перечень технических решений по архитектуре ВСИИП (из 25 пунктов).

Следуя В.К. Морозову и А.В. Долганову, архитектура системы охватывает ее физическую, логическую и функциональную структуры. Эти структуры последовательно проектируются в *подразделе 2.4*.

Предложения, касающиеся физической структуры (8 утверждений), определяют типы серверов, которые необходимо присутствуют в структуре ВСИИП (рис. 2).

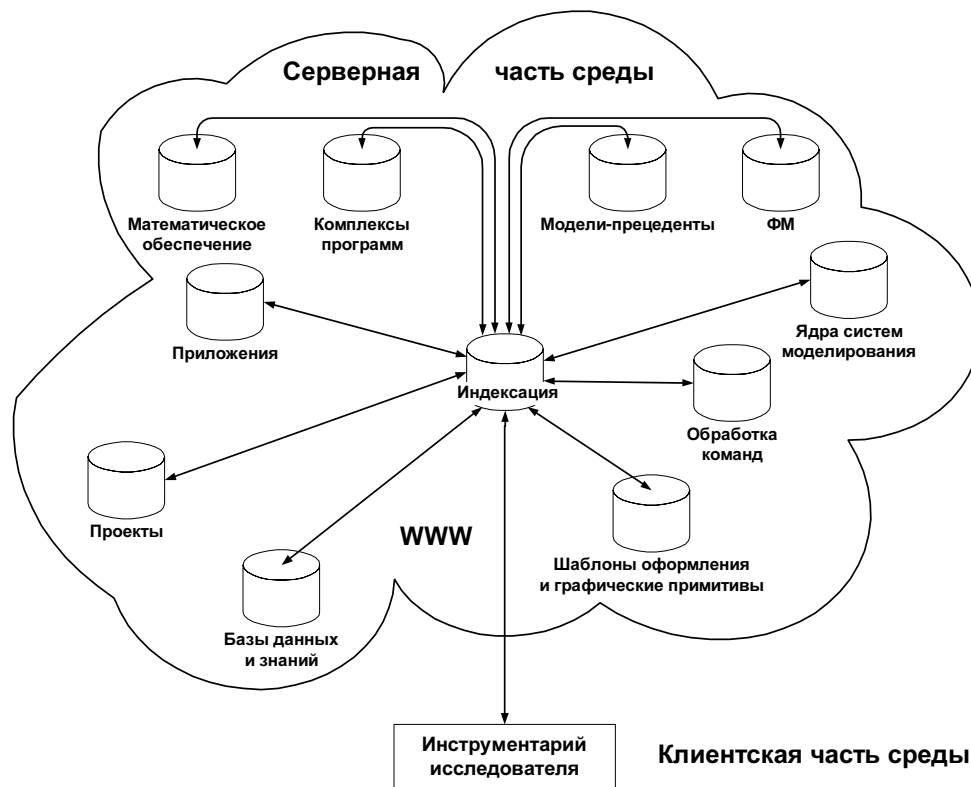


Рис. 2. Физическая структура ВСИИП

ВСИИП – клиент-серверная технология. Клиентом является web-браузер персонального компьютера конечного пользователя. В web-браузере реализована исследовательская оболочка (рис. 2), с помощью которой создаются продукты ВСИИП: численные модели, последовательно исполняемые программные модули, имитационные модели, задачи разработки/исследования. Клиентская часть выполняется в среде Internet Explorer 6.0. Браузер оснащается дополнительными, свободно распространяемыми модулями: Java plug-in (версия 1.4.2 и выше) и Flash player (версия 1.6 и выше). Новым здесь является возможность использовать в одном проекте модели, физически прогоняемые в различных средах моделирования (MATLAB, Maple, Mathcad, Mathematica, LabView и др.).

Три предложения по архитектуре ВСИИП касаются ее логической структуры, концептуальной основы. Их реализация – наиболее трудоемка. Это – организация взаимодействия серверов, моделей, пользователей, баз данных и моделей и т.п. В основе логической структуры ВСИИП (рис. 3) – логика взаимодействия специалистов с объектами среды. Это взаимодействие организуют функциональные модели (ФМ), формируемые специалистом на клиентском рабочем месте (в ходе постановки задачи исследования). По ФМ среда компоует математическое обеспечение и комплексы программ для проведения исследований. Процедуры компоновки конечного продукта и подключения ресурсов серверов

автоматизированы и являются существенной частью функциональной структуры ВСИИП.

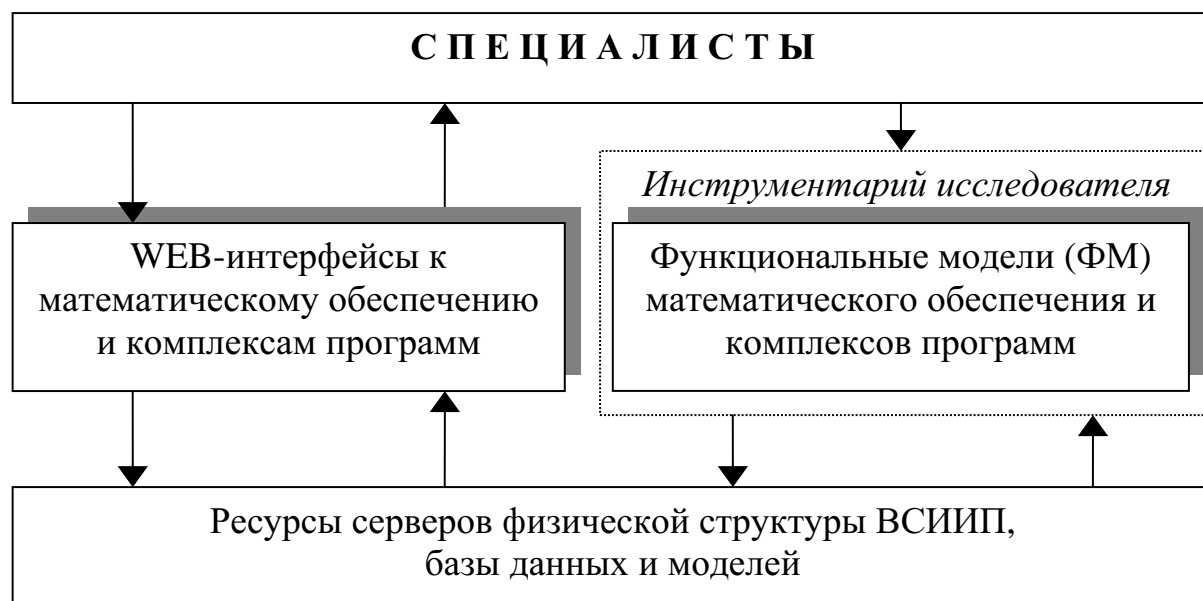


Рис. 3. Логическая структура ВСИИП

Большинство предложений (14 утверждений) касается функциональной структуры ВСИИП. Большая часть функций реализуется конечным пользователем (рис. 4) посредством заложенного во ВСИИП инструментария. При этом системообразующими функциями самой ВСИИП являются (на рис. 4 выделены жирным): генерация по созданной ФМ математического обеспечения и задуманного комплекса программ-моделей, ведение истории работы в среде, загрузка/сохранение конечных продуктов синтеза, интерпретация и оформление результатов исследования. При их реализации во ВСИИП генерируется и обслуживается шесть потоков данных (рис. 4).

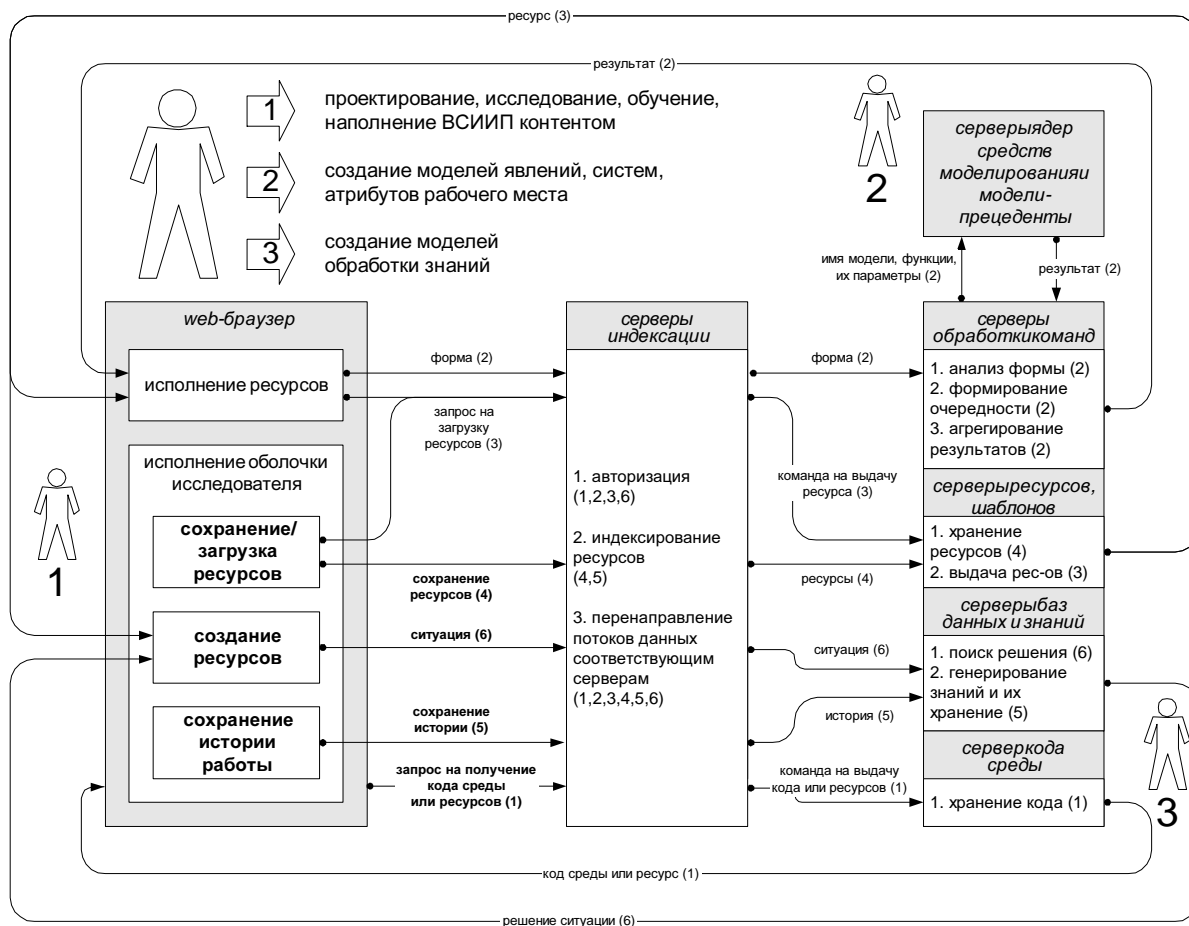


Рис. 4. Функциональная структура ВСИИП. Стрелками обозначены направления потоков данных, вид пересылаемых данных – текстом около стрелок, в скобках – в рамках какого потока данные пересылаются.

Системообразующие функции реализованы в макете ВСИИП (описан в *подразделе 2.5*), а именно: исполняемый код оболочки исследователя, модели-прецеденты, продукты ВСИИП, сценарии работы, шаблоны и графические примитивы, – физически расположены на одном сервере. В макете отсутствуют серверы приложений, баз данных и знаний, индексации. В этих условиях продемонстрированы основные идеи, заложенные во ВСИИП. В качестве средства моделирования в этом прототипе используется сетевая версия системы MATLAB. Технология взаимодействия клиента, продуктов и ресурсов ВСИИП с ядром системы моделирования MATLAB отображена на рис. 5.

Работа во ВСИИП заключается в запуске html-файла с интерфейсом к созданному математическому обеспечению канального модуля, компонента информационного процесса. В интерфейсе заданы исходные условия работы ФМ, виды переменных, инициализируемые алгоритмы и функции. Интерфейс выполняется у пользователя (в браузере клиента), математическое обеспечение – на вычислительном сервере (серверах) под

управлением соответствующей системы (систем) моделирования. При этом для организации взаимодействия клиента и серверов созданы: (1) шаблон-структура html-файла интерфейса; (2) обработчик клиентских запросов на стороне сервера.

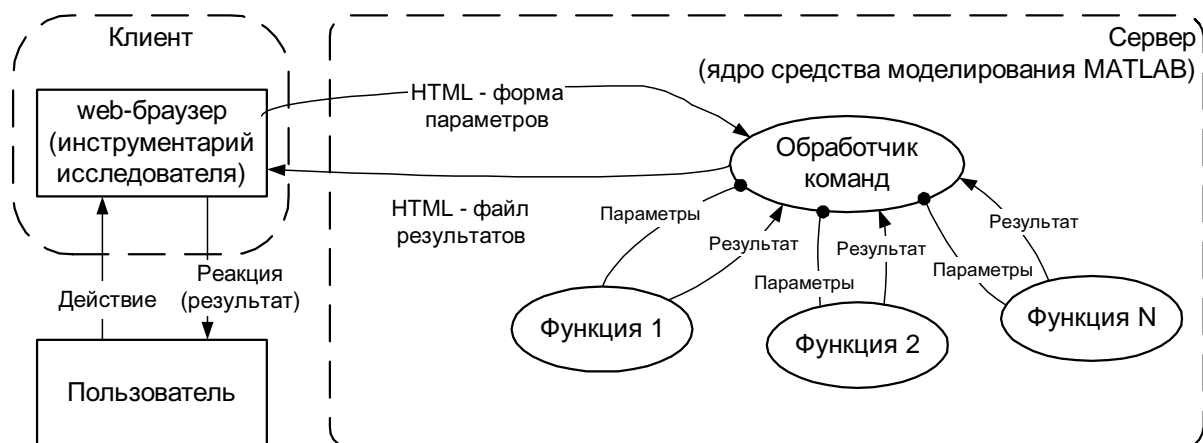


Рис. 5. Взаимодействие клиента с ядром системы MATLAB

При создании функциональной модели (html-файла с интерфейсом) автоматически генерируются необходимые тэги. Обработчик команд выполняется в выбранном средстве моделирования и обеспечивает: (а) анализ входных данных; (б) формирование очередности выполнения функций; (в) вызов функций согласно очередности и (г) пересылка результатов выполнения функций пользователю. Предложено обработчик команд выполнить в виде отдельного сервера. Это позволит распределять вычисления по множеству различных серверов и обрабатывать динамические массивы данных. Важно, что созданная структура html-файла интерфейса и алгоритм функционирования обработчика команд остаются неизменными при использовании ядер других систем моделирования.

В *подразделе 2.6* представлен сценарий работы пользователя при исследовании канального модуля в макете ВСИИП.

Исследование экономической эффективности внедрения и использования инструментария не проводилось. Вместо этого в *подразделе 2.7* обоснованы факторы экономической эффективности применения инструментария в АСУТП НГК, а также условия, при которых эффективность применения может иметь место.

**В третьем разделе – ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАЛИЗОВАННОЙ ВЕРСИИ ВСИИП** – осуществлена постановка задачи выбора параметров помехоустойчивого кода для передачи данных мониторинга распределенного ТП по коротковолновому каналу и представлены результаты ее решения в макете ВСИИП (функциональная модель, аналитика, графики, таблицы, зависимости). Алгоритмы и модели,

обеспечивающие отображение необходимых канальных модулей, реализованы в системе MATLAB. Результаты раздела подтверждают целесообразность применения ВСИИП для разработки математического обеспечения канальных модулей системы мониторинга ТП НГК.

В *подразделе 3.1* решается задача выбора параметров каналообразующей аппаратуры по заданным значениям параметров (среднее значение соотношения сигнал/шум, автокорреляция замираний, параметр рассеяния) физической среды с переменным затуханием. Реализован оригинальный алгоритм вычисления исправляющей способности  $t$  и необходимого количества проверочных символов  $m$ : с использованием точной формулы вероятности ошибочного приема в канале с памятью решается система двух неравенств:

$$\begin{cases} \sum_{i=1+t}^{m+k} P_n(I_i) = 1 - \sum_{i=0}^t P_n(I_i) \leq Q(C) \\ \sum_{i=1}^t C_{m+k}^i \leq 2^m \end{cases}, \quad (1)$$

где  $P_n(I_i)$  – сумма вероятностей всех векторов ошибок (ВВО) длины  $n$ , содержащих  $i$  единиц (ошибок),  $Q(C)$  – заданная вероятность ошибочного приема кодового слова. На результат накладывается ограничение вида:

$$\begin{cases} m \rightarrow \min \\ t \rightarrow \max \end{cases}. \quad (2)$$

Время счета алгоритма, осуществляющего поиск решения, при большой длине вектора ( $n > 25$ ) значительно (несколько часов). Это связано с тем, что формула расчета представляет собой сумму вероятностей многих векторов ошибок. Показано, что

$$P_n(I_i) \leq P_n(\max\{I_i\}) \cdot L, \quad (3)$$

где  $L = C_n^i$  – число векторов длины  $n$ , содержащих по  $i$  единиц (вычисляется как число сочетаний из  $n$  по  $i$ ). Если  $P_n(I_i)$  в (1) заменить на правую часть неравенства (3), то может возникнуть ситуация, когда первое неравенство системы (1) будет выполняться, хотя заданная вероятность ошибочного приема обеспечиваться не будет. Поэтому алгоритм, реализующий решение системы (1), целесообразно применять для быстрого отыскания исправляющей способности кода и необходимого количества проверочных символов по заданным  $k$  (число информационных разрядов) и  $Q(C)$ . После получения этого приближенного решения логично

проверить первое неравенство системы (1) перебором всех векторов ошибок.

В *подразделе 3.2* для вычисления ВВО, входящих в состав системы (1), применен аппарат характеристических функций (ХФ) [В.И. Коржик, S. Okui, N. Marinaga, T.Namekawa, В.А. Шапцев], позволяющий связать ВВО с характеристиками среды распространения сигнала. При этом реализован уточненный алгоритм вычисления ХФ. Расчеты показали, что при увеличении длины вектора ошибки ( $n$ ) время счета ( $t$ ) растет экспоненциально (рис. 6).

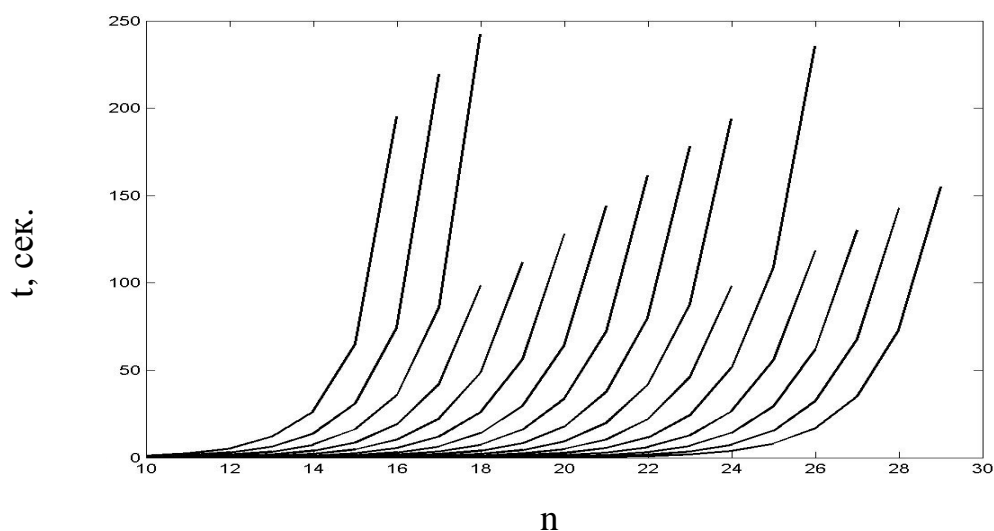


Рис. 6. Зависимость между  $t$  и  $n$  при  $i \in [1 \div 16]$ .

Ближайшая к оси  $t$  кривая построена для  $i = 1$ , самая правая – для  $i = 16$ .  
 $i$  – число единиц в векторе ошибки.

Решена задача прогноза времени счета. В частности получено, что время счета  $t$  в наиболее трудоемких случаях ( $i = 1$ ) связано с длиной вектора  $n$  зависимостью:

$$t = 0.641 + 9.381 \cdot 10^{-6} \cdot e^{1.052 \cdot n}. \quad (4)$$

Время расчета ВВО, содержащего одну единицу и имеющего длину  $n=16$ , составило 193 секунды. Это нельзя считать приемлемым для реализации алгоритма во ВСИИП. Поэтому для каналов с хорошими условиями распространения сигнала разработаны два алгоритма ускорения вычислений за счет уменьшения точности.

**Алгоритм №1** использует выявленное в процессе вычислений свойство промежуточных значений характеристических функций: эти значения образуют знакопеременный убывающий ряд относительно искомой вероятности. По признаку Лейбница – он сходящийся, а остаток имеет знак первого отбрасываемого члена и меньше его по абсолютному

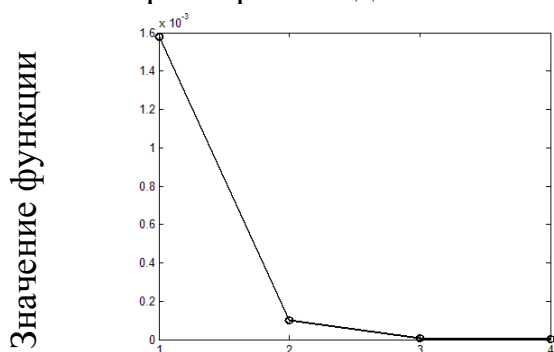
значению. Замеченное свойство позволяет ускорить расчет ВВО с заданной точностью. В частности, зависимость времени счета  $t$  от  $n$  при  $\epsilon = 10\%$  ( $i=1$ ) стала следующей:

$$t = 0.07 + 9.381 \cdot 10^{-6} \cdot e^{0.79 \cdot n} \quad (5)$$

Существенно изменился в меньшую сторону постоянный член и на 21,5% уменьшился показатель экспоненты. С ростом  $n$  это приводит к существенному ускорению вычислений. Хотя в целом сложность задачи осталась экспоненциальной. Так, время счета вероятности 16-ти разрядного вектора ошибки, в котором одна единица, уменьшено до 3.26 секунд против 193 секунд в случае точного расчета. Учитывая, что остальные векторы (состоящие из большего числа единиц) считаются за время порядка  $0,01 \div 0.73$  секунды каждый, заключаем, что общее время счета для использования алгоритма в рамках ВСИИП является приемлемым.

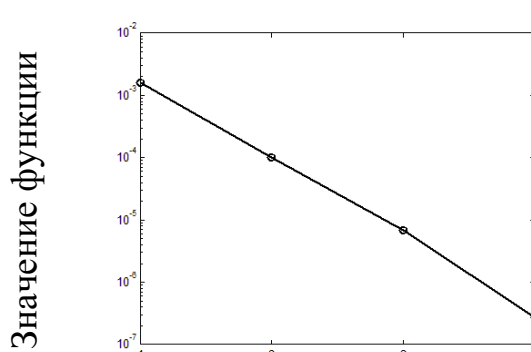
**Алгоритм №2** использует другую замеченную закономерность: с увеличением числа ненулевых аргументов ХФ значения необходимых для расчета промежуточных слагаемых уменьшаются предположительно экспоненциально (рис.7а).

Кривые, построенные в логарифмическом масштабе (рис. 7б), хорошо аппроксимируются полиномами второй степени. Предложено в процессе счета оценивать параметры параболы, аппроксимирующей кривые, подобные изображенным на рис. 7б, по трем точкам; по полученным результатам вычислять необходимые для счета ВВО промежуточные слагаемые. Этот алгоритм обеспечивает вычисление ВВО для каналов с хорошими условиями распространения сигнала с точностью до двух значащих знаков. При этом время счета во всех случаях постоянно и составляет 0.03 секунды. Точность и время счета проверены для векторов ошибок размерности до 16 включительно.



Число ненулевых аргументов ХФ

а)



Число ненулевых аргументов ХФ

б)

Рис. 7. Суммы значений ХФ в зависимости от числа ненулевых аргументов ХФ. Масштаб: а) линейный; б) логарифмический.

Замечено, что эти алгоритмы не применимы для каналов с плохими условиями связи (большими вероятностями ошибок). В этом случае зависимости значений сумм ХФ от числа ненулевых аргументов имеют экстремум (рис. 8).

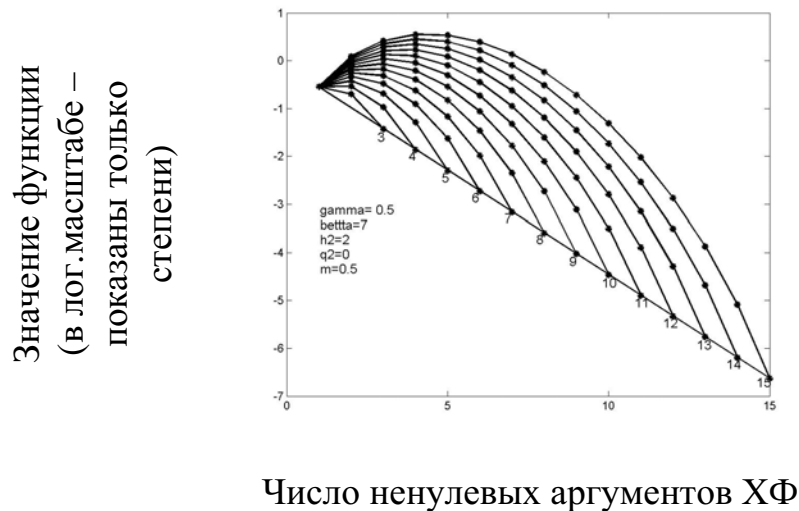


Рис. 8. Суммы ХФ от числа ненулевых аргументов для каналов с плохими условиями распространения сигнала.

Вычисления производились для наиболее трудоемких векторов при различных длинах векторов ошибок  $n$ . Числа на линиях характеризуют длину векторов ошибок, для которых построены соответствующие кривые. Попытка аппроксимации кривых, изображенных на рис. 8, известными функциями оказалась безуспешной. Исследованы свойства этих кривых и сформулирована задача отыскания кривой нового типа.

В *подразделе 3.3* на базе алгоритмов и результатов, полученных в пп. 3.1-3.2, разработан комплекс программ для анализа цифрового канала связи. В частности, для целей мониторинга ТП НГК необходима достоверность передачи информационного блока бит ( $k = 11$ ) с вероятностью искажения не хуже  $10^{-6}$  [Советов]. Для этого необходимо дополнительно использовать 31 проверочный символ, что позволяет исправлять до 10 ошибок, если используется линейный блочный код. При увеличении скорость передачи в два раза, понадобится 47 контрольных разрядов, которые смогут исправить до 16 ошибок.

Этот комплекс стал частью базы моделирования ВСИИП.

**В ЗАКЛЮЧЕНИИ** перечислены основные результаты, полученные в диссертационной работе. А именно:

1. Разработана обобщенная модель информационного процесса, позволившая обозначить базовый перечень объектов, которыми оперируют инженеры НГК, обеспечивающие функционирование канальных модулей системы мониторинга ТП НГК. В ОМИП обозначены интеллектуальные компоненты и компоненты жизнеобеспечения.

2. Выявлены ограничения существующих средств проведения компьютерных экспериментов, затрудняющие их непосредственное использование специалистами НГК.

3. Разработана архитектура среды синтеза программного обеспечения (ВСИИП) для поддержки функционирования канальных модулей систем мониторинга технологических процессов. Создан макет этой среды.

4. Показано, что макет ВСИИП адекватен сформулированным требованиям. С его помощью решены две научно-технические задачи по передаче данных по КВ-каналу в системе мониторинга техпроцессов НГК.

5. Разработано (в составе ВСИИП) специальное математическое обеспечение, а именно:

– машиноориентированная методика определения исправляющей способности кода  $t$  и необходимого количества проверочных символов  $m$ . Методика использована при определении качественных характеристик цифрового канала связи;

– алгоритмы ускорения вычислений, понижающие сложность задачи определения вероятности вектора ошибки заданной конфигурации.

Результаты работы проанализированы, сделан вывод о достижении поставленной цели. Обозначена научная новизна результатов и сформулированы две гипотезы:

1. Зависимость сумм значений характеристических функций от числа ненулевых аргументов соответствующих ХФ при расчете вероятности вектора ошибки заданной конфигурации для каналов с плохими условиями распространения сигнала описывается цепной линией.

2. Для отображения динамических данных на компьютере пользователя необходима технология, основанная на протоколе X11.

Даны рекомендации по использованию полученных результатов.

## **Основные положения диссертации опубликованы в работах:**

1. *Руденко М.В.* Требования к инструментарию для создания компьютерных средств сопровождения учебного процесса // Матер. обл. науч.-метод. конф. «Информационные технологии в образовательном процессе» (Тюмень, 5 апр. 2002г.). – Тюмень: Изд-во «Вектор Бук», 2002. – С.199-201.
2. *Руденко М.В.* Сравнительный анализ современных средств компьютерного моделирования информационных процессов // Вестник кибернетики. Вып. 1. – Тюмень: ИПОС СО РАН, 2002. – С.23-33.
3. *Руденко М.В.* Алгебра кронекеровских произведений в системе MATLAB /*М.В.Руденко, В.А. Шапцев* // Тез. докл. III междунар. науч. конф. «Компьютерная математика в фундаментальных и прикладных исследованиях и образовании» (Минск, 24-28 сент. 2002г.). – Минск: БГУ, 2002. – С.54.
4. *Руденко М.В.* Архитектура виртуальной лаборатории «Информационные процессы» // Матер. регион. межвуз. науч.-метод. конф. «Роль информационных технологий в обучении: проблемы, перспективы, решения» (Тюмень, 28 марта 2003г.). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – С.103-105.
5. *Руденко М.В.* Тестирование знаний с помощью виртуальных лабораторий // Тр. IV междунар. науч.-техн. конф. «Компьютерное моделирование 2003» (СПб, 24-28 июня 2003г.). – СПб: Нестор, 2003. – С.457-458.
6. *Руденко М.В.* Информационные процессы как объект изучения в вузе нефтегазового профиля (исследование) / *М.В. Руденко, В.А. Шапцев* // Матер. междунар. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в нефтегазовой промышленности и энергетике» (Тюмень, 7-9 окт. 2003г.). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – С.54-56.
7. *Руденко М.В.* Виртуальная среда для исследования информационных процессов в НГК / *М.В.Руденко, В.А. Шапцев* // Тез. докл. регион. науч.-практич. конф. «Информационные технологии в образовании» (20 мая 2004г.) – Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. – С.41.
8. *Руденко М.В.* Проблема вычислимости вероятности вектора ошибки в задаче синтеза помехоустойчивого кодера / *М.В. Руденко, В.А. Шапцев* // Вестник кибернетики. Вып. 3. – Тюмень: ИПОС СО РАН, 2004. – С.27-36.