

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
УЧЕБНО-НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

На правах рукописи

Носов Максим Васильевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ
МЕЖДУ ОПЕРАТОРАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ
С УЧЕТОМ ИХ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Специальность 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук
Басов Олег Олегович

Орёл – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень принятых сокращений.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМНО-КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ МЕЖДУ ОПЕРАТОРАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБ.....	13
1.1 Анализ условий функционирования производственно-диспетчерских служб газодобывающих и газотранспортных предприятий	13
1.2 Анализ подходов к управлению персоналом и факторов, влияющих на его эффективность.....	19
1.3 Подход к распределению производственно-технологических функций, учитывающий психофизиологическое состояние операторов автоматизированных рабочих мест производственно-диспетчерской службы.....	23
1.4 Постановка задачи исследования.....	27
1.5 Выводы по первой главе.....	28
ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА, ОБЪЕДИНЯЮЩАЯ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖИТТЕРА СИГНАЛОВ МНОГОМОДАЛЬНОГО ВХОДНОГО ИНТЕРФЕЙСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА.....	30
2.1 Исследование многомодальных входных интерфейсов автоматизированных рабочих мест производственно-диспетчерских служб.....	30
2.2 Математическая модель психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места.....	36
2.3 Алгоритмы формирования джиттера сигналов многомодального	

входного интерфейса автоматизированного рабочего места.....	45
2.3.1 Джиттер периода основного тона речевого сигнала.....	45
2.3.2 Джиттер характеристических последовательностей сигналов нажатия кнопок клавиатуры и манипулятора типа «мышь».....	52
2.3.3 Джиттер сигнала перемещения манипулятора типа «мышь».....	56
2.4 Выводы по второй главе.....	61
ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖИТТЕРА	62
3.1 Методы анализа компонент джиттера.....	62
3.2 Существующие способы выделения джиттера, зависящего от данных	66
3.3 Алгоритм разделения периодического и случайного джиттера.....	71
3.4 Исследование характеристик периодического и случайного джиттера сигналов многомодального входного интерфейса автоматизированного рабочего места	77
3.5 Выводы по третьей главе.....	85
ГЛАВА 4 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛОЖЕННОГО ПОДХОДА В ПРОИЗВОДСТВЕННО-ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБАХ ГАЗОДОБЫВАЮЩИХ И ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	87
4.1 Методика распределения производственно-технологических функций между операторами автоматизированных рабочих мест.....	87
4.2 Программно-аппаратный комплекс распределения производственно-технологических функций между операторами автоматизированных рабочих мест.....	95
4.3 Выводы по четвертой главе.....	100
Заключение.....	101
Список литературы.....	105

Перечень принятых сокращений

АРМ	– автоматизированное рабочее место;
АСУ	– автоматизированная система управления;
АСУТП	– автоматизированная система управления технологическим процессом;
ГДП	– газодобывающее предприятие;
ГТП	– газотранспортное предприятие;
ГТС	– газотранспортная система;
ДП	– диспетчерский пункт;
ИУС ДУ	– информационно-управляющие системы диспетчерского управления;
КС	– компрессорная станция;
ЛВС	– локальная вычислительная сеть;
ЛКМ	– левая клавиша мыши (манипулятора типа «мышь»);
ЛПУ	– линейно-производственное управление;
ЛПУМГ	– линейно-производственное управление магистрального газопровода;
ЛС	– линия связи;
МГ	– магистральный газопровод;
ММВИ	– многомодальный входной интерфейс;
НСД	– несанкционированный доступ;
ОТ	– основной тон;
ПДС	– производственно-диспетчерская служба;
ПТП	– производственно-технологический процесс;
ПТФ	– производственно-технологическая функция;
ПФС	– психофизиологическое состояние;
ПХГ	– подземное хранилище газа;

ПЭВМ	– персональная электронная вычислительная машина;
СДУ	– система диспетчерского управления
СНВ	– субъективное непреднамеренное воздействие;
СПМ	– спектральная плотность мощности;
ТИ	– телеметрическая информация;
ТР	– телерегулирование;
ТС	– телеметрический сигнал;
ТУ	– телеуправление;
УЗАТ	– устройство защиты абонентского терминала;
УЗИ	– устройство защиты информации;
ФНЧ	–фильтр нижних частот;
ЦДП	– центральный диспетчерский пункт;
ЦПДД	– центральный производственно-диспетчерский департамент;
ЧХ	– частотная характеристика;
DDJ	– Data-Dependent Jitter (джиттер, зависящий от данных);
DJ	– Deterministic Jitter (детерминированный джиттер);
DCD	– Duty-Cycle Distortion (искажение коэффициента заполнения импульсной последовательности);
ERP	– Enterprise Resource Planning (планирование ресурсов предприятия);
ISI	– Inter-Symbol Interference (межсимвольная интерференция);
КВМ	– Knowledge-Based Management (менеджмент, основанный на знаниях);
MES	– Manufacturing Execution System (система управления производством);
PJ	– Periodic Jitter (периодический джиттер);
RJ	– Random Jitter (случайный джиттер);
SCADA	– Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерское управление и сбор данных);

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых составляющих обеспечения эффективного управления газотранспортной системой (ГТС) России является комплексная автоматизация производственно-диспетчерских служб (ПДС) дочерних обществ ОАО «Газпром» – газодобывающих (ГДП) и газотранспортных (ГТП) предприятий. В задачи ПДС входят оперативное управление производственной деятельностью предприятия по транспорту/добыче/хранению/поставкам газа и управление оборудованием. Соответствующие производственно-технологические функции (ПТФ) выполняются операторами автоматизированных рабочих мест (АРМ) ПДС в рамках MES- и SCADA-систем.

В настоящее время при создании систем диспетчерского управления ГДП и ГТП делаются попытки эффективной интеграции MES- и SCADA-систем на различных уровнях структуры ПДС, в том числе с АСУ (ERP-системами) подземных хранилищ газа (Ананенков А.Г., Балавин М.А., Емельянов С.В., Жученко И.А., Львович Я.Е., Костюков В.Е., Подвальный С.Л., Фролов В.Н.). Такие интегрированные АСУ предъявляют повышенные требования к квалификации (компетенции) обсуживающего персонала и его функциональному (психофизиологическому) состоянию, однако существующие системы автоматизированного планирования (MES и ERP) предусматривают только приблизительное оценивание человеческих ресурсов производства и возможность планирования его показателей на этапе распределения производственных заданий.

Вопросам совершенствования процесса оперативного управления персоналом промышленных предприятий посвящены работы Анкудинова И.Г., Загородникова С.В., Новицкого Н.В., Пашуто В.И., Петрова В.А., Смирнова С.В. Однако в них не учитываются влияния, связанные с возникновением нервно-эмоционального напряжения, утомления, заболевания и других отклонений психофизиологического состояния (ПФС), характерных для операторов АРМ,

что негативно сказывается на качестве принимаемых ими решений. Развитию методов оценки ПФС посвящены работы Абашина В.Г., Десятерика М.Н., Иванова А.И., Марченко В.В. Однако в них, как правило, используется либо косвенная оценка ПФС оператора, либо рассматриваются одномодальные (например, сигнал клавиатуры) входные интерфейсы АРМ, что значительно снижает качество соответствующих решений.

В современных ПДС входные интерфейсы различных по функциональности типов АРМ (контроля и управления SCADA, работы с MES, сопровождения, просмотра отчетной информации и др.), как правило, реализуются с использованием клавиатуры и манипулятора типа «мышь» (далее – «мышь»), а оперативное управление производственно-технологическим процессом сопровождается коммуникативным взаимодействием операторов. Данные факты указывают на возможность и необходимость использования многомодальных (сигналы клавиатуры, «мыши» и речевой сигнал) входных интерфейсов (ММВИ) АРМ для оценки ПФС операторов.

Успешное выполнение профессиональных обязанностей, сохранение здоровья операторов и, как следствие, повышение производительности операторов АРМ ПДС может быть достигнуто за счет совершенствования научно-методического аппарата определения ПФС операторов по информации от ММВИ АРМ и разработки механизмов динамического распределения их ПТФ в случае отклонения ПФС от нормы. Указанный подход представляет собой сложную научно-техническую задачу и обуславливает актуальность темы исследований.

Объект исследования – производственно-диспетчерские службы газодобывающих и газотранспортных предприятий.

Предмет исследования – подходы к распределению производственно-технологических функций между операторами с учетом их психофизиологического состояния, а также модели, методики и алгоритмы его определения по

информации от многомодального входного интерфейса АРМ производственно-диспетчерской службы.

Целью диссертационной работы является повышение производительности операторов АРМ производственно-диспетчерских служб газодобывающих и газотранспортных предприятий в условиях изменения их психофизиологического состояния.

Научная задача исследований заключается в создании подхода к распределению производственно-технологических функций между операторами производственно-диспетчерской службы с учетом их психофизиологического состояния, а также модели, методики и алгоритмов оценки такого состояния по информации от многомодального входного интерфейса АРМ.

К частным задачам исследований относятся:

- проблемно-классификационный анализ задачи распределения ПТФ за исполнителями и подходов к ее решению;
- разработка подхода к распределению производственно-технологических функций между операторами АРМ с учетом их психофизиологического состояния;
- исследование многомодальных входных интерфейсов АРМ ПДС;
- разработка математической модели ПФС оператора АРМ;
- разработка методики определения интегральных характеристик джиттера сигналов ММВИ, позволяющей определить отклонение ПФС оператора от нормы;
- разработка методики распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ ПДС при изменении их ПФС;
- экспериментальная проверка разработанного методического аппарата оценки ПФС и автоматизации распределения ПТФ за операторами АРМ ПДС, а также моделирование соответствующих процессов с оценкой их эффективности.

Методы и средства исследований. При решении диссертационных задач использовались элементы теорий измерений, автоматического управления и речеобразования, методы цифровой обработки сигналов, математической статистики и исследования операций, а также математического моделирования на ПЭВМ.

Научная новизна работы заключается в разработке:

- подхода к распределению производственно-технологических функций, базирующегося на квалификационных профилях операторов и нормативных профилях производственно-технологических функций, отличающегося учетом многокомпонентной модели психофизиологического состояния оператора АРМ;
- математической модели психофизиологического состояния оператора АРМ, включающей джиттер периода основного тона речевого сигнала и характеристических последовательностей сигналов клавиатуры и манипулятора типа «мышь», отличающейся объединением интегральных характеристик джиттера с помощью обобщенной функции Харрингтона и позволяющей получать оценки психофизиологического состояния по доступной для анализа информации от многомодального входного интерфейса АРМ;
- методики определения интегральных характеристик джиттера, базирующейся на спектральном методе разделения периодического и случайного джиттера, отличающейся способом заполнения неизвестных значений джиттера периода основного тона речевого сигнала и оценкой случайного джиттера в заданных границах нормального психофизиологического состояния оператора;
- методики распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ, реализующей предложенный подход с использованием соответствующего программно-аппаратного комплекса в производственно-диспетчерских службах газодобывающих и газотранспортных предприятий.

Практическая ценность работы заключается в доведении разработанного методического инструментария до уровня программно-аппаратных средств, предусматривающих их непосредственное применение для эффективного распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ производственно-диспетчерских служб газодобывающих и газотранспортных предприятий.

Основные результаты диссертационной работы *внедрены* в работу Call-центра технической и коммерческой поддержки ЗАО «Шнейдер Электрик» (г. Москва), при определении психофизиологического состояния операторов АРМ в ОАО «Онгнет» (г. Горно-Алтайск), при автоматизации распределения функций между операторами оперативно-диспетчерской службы ООО «Газ-пром межрегионгаз Орел», что подтверждается соответствующими актами внедрения. Ряд теоретических результатов внедрен в учебный процесс на кафедрах «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность» ГУ-УНПК и «Электроника и теория электрической связи» Академии ФСО России.

Основные положения и результаты работы *доклаживались и обсуждались* на Международной научно-практической конференции «Моделирование и прогнозирование в управлении: методы и технологии» (12-14 ноября 2012, г. Орел) [46], Международной научно-технической Интернет-конференции «Информационные системы и технологии» (01 апреля – 31 мая 2013, г. Орел) [49], X Международной научно-практической конференции «Научная мысль информационного века – 2014» (07–15 марта 2014, Польша) [42], VII Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014» (22-27 апреля 2014, г. Ростов-на-Дону) [43], 4-й Международной научно-практической конференции «Современные инновации в науке и технике» (18 апреля 2014, г. Курск) [47], VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке,

образовании и производстве» (22-23 мая 2014, г. Орел) [44].

По материалам диссертационной работы опубликовано 5 тезисов докладов, 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК [15, 40, 41, 48], получены положительное решение о выдаче патента на полезную модель «Устройство защиты информации от субъективных непреднамеренных воздействий» [73], положительное решение о выдаче патента на полезную модель «Устройство защиты абонентского терминала от несанкционированного доступа к линии связи» [74], свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613478 «Программа определения параметров текстовых модальностей» [58], свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615750 «Программа формирования характеристик случайного джиттера сигналов текстовых и речевого каналов коммуникации» [59], свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616058 «Программа динамического распределения производственно-технологических функций при изменении психофизиологических состояний исполнителей-операторов АРМ» [57], свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013615219 «Формирователь квазиоптимальных базисных функций для системы связи по цифровым абонентским линиям» [75].

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Подход к распределению производственно-технологических функций, учитывающий многокомпонентную модель психофизиологического состояния оператора АРМ.
2. Математическая модель психофизиологического состояния оператора, объединяющая интегральные характеристики джиттера сигналов многомодального входного интерфейса АРМ.
3. Методика определения интегральных характеристик джиттера.
4. Методика распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 109 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 124 наименований; содержит 4 таблицы и 37 рисунков.

ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМНО-КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ МЕЖДУ ОПЕРАТОРАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБ

1.1 Анализ условий функционирования производственно-диспетчерских служб газодобывающих и газотранспортных предприятий

Газодобывающие предприятия включают в себя объекты добычи, подготовки, транспорта газа и газового конденсата, распределенные по территории на значительных расстояниях друг от друга. Основным координирующим звеном, контролирующим выполнение плановых показателей и отслеживающим эффективную работу оборудования на такого рода объектах, является производственно-диспетчерская служба (ПДС). В задачи ПДС входит оперативное управление процессами добычи, подготовки и транспорта газа, подготовка и анализ информации о состоянии и режимах работы объектов основного производства, формирование и предоставление требуемой информации конечным потребителям.

Технологический процесс непосредственно на объектах добычи и подготовки газа контролируется операторами с помощью систем АСУТП. Средства автоматизации и системы управления объектами газовых промыслов на предприятии разрабатывались и вводились поэтапно одновременно с технологическим оборудованием на протяжении продолжительного периода времени. При этом одним из недостатков существовавших на предприятии систем АСУ газового промысла являлась разрозненность и разнородность локальных систем автоматизации, отсутствие возможности создания долгосрочных архивов данных,

большие трудозатраты при анализе информации о происходящих взаимосвязанных технологических процессах [27, 29, 39].

Масштабная программа развития и модернизации ГТС России делает актуальными вопросы повышения эффективности диспетчерского управления ГДП и ГТП – дочерними Обществами ОАО «Газпром». Одной из ключевых составляющих обеспечения эффективного управления ГТС является комплексная автоматизация диспетчерских служб всех уровней.

Системы диспетчерского управления (СДУ) относятся к системам «человек-машина», или автоматизированным системам (в отличие, например, от систем автоматического управления, осуществляющих управление в непрерывном и замкнутом контуре, как правило без участия оператора). Следовательно, СДУ должны создаваться для автоматизации деятельности конкретных людей – диспетчеров, специалистов, руководителей.

Описание функциональной структуры автоматизируемой деятельности (и подразделения) – достаточно важный и хорошо известный этап в разработке информационных систем (ИТ-систем) общего назначения, например – автоматизации производственно-хозяйственной деятельности (ERP). Развитие информационных технологий с одной стороны и расширение круга задач, решаемых диспетчерскими службами, с другой, делают актуальным этап проектирования функциональной структуры, или описания автоматизируемых бизнес-процессов, которые осуществляют пользователи этих систем в рамках организационной структуры предприятия.

При решении данной задачи представляется целесообразным использовать западный опыт – методики формализации описания бизнес-процессов и проектирования на основе данного формализованного описания структуры и функциональности информационных и управляющих систем хорошо отработана и широко применяется зарубежными компаниями, в том числе при разработке СДУ. При рассмотрении бизнес-процессов деятельности ПДС ГТП дочерне-

го Общества ОАО «Газпром» (рис. 1.1) следует отметить, что функции системы разделяются на два класса: управление оборудованием (технологией) и управление собственно деятельностью предприятия по транспорту/добыче/хранению/поставкам газа [25].

Первый класс относится к задачам систем класса АСУТП, или SCADA-систем (*Supervisory Control and Data Acquisition* – диспетчерское управление и сбор данных), второй (по современной терминологии) – к классу MES (от англ. *Manufacturing Execution Systems* – системы управления производством, производственные исполнительные системы) или автоматизированных СДУ. Для эффективной работы СДУ необходима эффективная интеграция SCADA- и MES-систем, в том числе в виде обмена информацией в режиме реального времени.



Рис. 1.1. Вариант представления производственно-технологических функций в диспетчерском управлении ГДП и ГТП

Особо следует подчеркнуть необходимость интеграции с ERP-системами подземных хранилищ газа (ПХГ). Диспетчерское управления ПХГ имеет определенные особенности, прежде всего за счет большого числа алгоритмов

управления и регулирования технологическими установками, спецификой анализа и расчетов параметров, сосредоточенностью объектов управления и др. ERP-системы традиционно не автоматизируют комплекс диспетчерских задач, прежде всего вследствие его специфичности, наличия компонентов реального времени, большого числа модельных и расчетных процедур и общей доли обработки информации о физических процессах транспорта газа. Необходимое взаимодействие осуществляется через уровень MES-системы.

Особенностью ОАО «Газпром» является многоуровневая структура диспетчерского управления (рис. 1.2). На разных уровнях ПДС решают различные задачи [52] с различной степенью «присутствия» SCADA-, MES- и ERP-систем. Анализ задач управления и практика автоматизации показывают, что SCADA-задачи полнофункционально решаются только на уровне цехов и диспетчерских пунктах линейно-производственных управлений (ДП ЛПУ) или иных подразделений ГТП (ГДП). В свою очередь, управление процессами (MES) «начинается» на уровне ЛПУ (МГ) и в полной мере реализуется в ГТП (ГДП) и центральном производственно-диспетчерском департаменте (ЦПДД). ERP-системы функционируют на уровнях ЦПДД и ГТП (ГДП), в линейно-производственных управлениях магистрального газопровода (ЛПУМГ), где устанавливаются, как правило, удаленные компоненты ERP-систем.

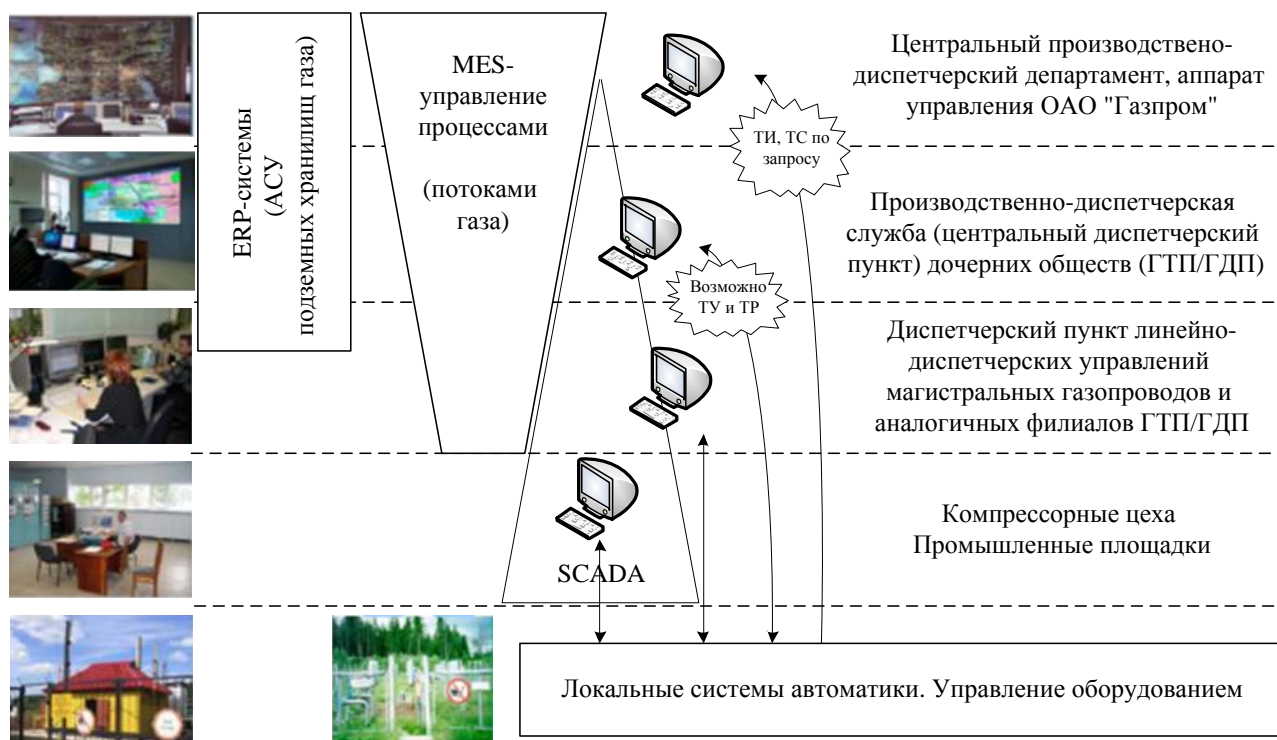


Рис. 1.2. SCADA-MES-ERP-интеграция на различных уровнях управления

Изменение характера задач сказывается на объемах информации, передаваемой на вышестоящий уровень управления. В силу специфики организации работы ОАО «Газпром» на вышестоящих уровнях должны быть предусмотрены возможности доступа к полному объему информации, в том числе реального времени, с нижестоящего уровня управления. Это особенно важно для анализа и принятия решений в критических ситуациях, а также для анализа аварий и происшествий. Также при чрезвычайных ситуациях для уровня ГТП (ГДП) должны быть реализованы возможности телеуправления и телерегулирования машинами и механизмами, минуя уровень ДП ЛПУ.

Исходя из представленной структуры (рис. 1.2) СДУ может включать различные по функциональности типы автоматизированных рабочих мест (АРМ): контроля и управления SCADA, работы с MES (ввод и просмотр данных или только просмотр отчетов), сопровождения, а также просмотра отчетной информации и другие. Для SCADA-систем и для MES-приложений используются те же компьютеры и, как правило, те же операционные системы, что и

для инфокоммуникационных приложений общего назначения и ERP-систем. Данная тенденция делает возможным более полно использовать в СДУ всё возрастающие вычислительные мощности современных ЭВМ, упростить решение задач интеграции SCADA-MES-ERP, более эффективно организовать обслуживание и эксплуатацию системы.

Наиболее заметными и важными для пользователя (диспетчера и специалиста) являются появление и развитие решений по оснащению АРМ и совершенствование человеко-машинного интерфейса, обеспечивающего эргономику и эффективность восприятия, обработки информации и принятия решений.

Важным аспектом интеграции информации и организации эффективного отображения данных является необходимость в ряде случаев совмещать на одном пульте диспетчерскую ЛПУМГ с операторной компрессорной станции (КС) и цеха. Диспетчер ЛПУМГ одновременно выполняет задачи сменного инженера цеха, для чего он должен работать с несколькими системами автоматизации. Как минимум, это SCADA-MES ЛПУ (включая телемеханику), цеховая система управления и регулирования, система управления энергоснабжением. Традиционно, каждая из систем имеет собственный монитор и собственное программное обеспечение, а их АРМ отличаются как изображением и представлением информации, так и методами выдачи команд, изменения уставок и т.д. Такая ситуация существенно снижает эффективность работы диспетчера (оператора), особенно в ночное время или в чрезвычайных ситуациях.

Решением проблемы является интеграция в едином программно-аппаратном комплексе систем визуализации информации от различных систем ЛПУМГ/КС и управления ими (рис. 1.3), а также совершенствование мер, направленных на управление персоналом ПДС.



а)

б)

Рис. 1.3. Примеры организации ПДС:

а – «традиционная» диспетчерская с пятью типами АРМ (каждый с оригинальным программным обеспечением); *б* – интегрированное решение

1.2 Анализ подходов к управлению персоналом и факторов, влияющих на его эффективность

Управление персоналом в традиционных отделах кадров предприятий сводится к решению следующих задач:

- планирование структуры организации, разработка штатных расписаний и кадровой политики;
- расчет заработной платы, оперативный учет движения кадров;
- ведение административного документооборота по персоналу и учету труда, аттестации и определению потребностей (обучение, повышение квалификации) работников;
- набор персонала на вакантные должности;
- ведение архивов без ограничения сроков давности.

Однако в последнее время все больше российских компаний начинают осознавать, что отдел персонала – это не просто отдел, который ведет учет личных карточек работников (исполнителей), но и занимается развитием профес-

сиональных и личных качеств сотрудников предприятия [1]. В их практике начинает использоваться подход, основанный на формализованных и единых для всего предприятия квалификационных оценках компетенций персонала.

Для оценки компетенции работников и рационального распределения кадров на предприятии периодически проводятся специальные мероприятия – аттестации [71, 72]. В популярной системе «1С» [5], например, кроме управленческих процедур отдела кадров и бухгалтерского учета, автоматизировано также управление компетенциями и обучением персонала.

Автоматизированная Система Управления Персоналом [11] ориентирована на управление персоналом российских предприятий (с учетом их специфики) на трех уровнях: стратегическом, тактическом и оперативном.

Автоматизированная система управления персоналом «БОСС-Кадровик» [17] позволяет оптимизировать процессы управления человеческими ресурсами как в крупных организациях, так и динамично развивающихся средних компаниях, включая внедрение контуров управления и анализа кадровых процессов: управление вакансиями и планирование занятости; подбор персонала и работа с кадровым резервом; управление мотивацией персонала; управление компетенциями.

Наряду с этим существующие подходы не учитывают влияния функционального (психофизиологического) состояния персонала на качество и производительность их работы. Для операторов, работающих в условиях напряженного умственного труда, специфичного для ГДП и ГДП, сопряженных с возрастанием их решающей роли при возникновении неординарных и чрезвычайных ситуаций, характерно возникновение состояния нервно-эмоционального напряжения, утомления, психического пресыщения и монотонии [61].

Выявление неблагоприятного влияния изменения этих состояний на принимаемые оператором решения возможно на основе кибернетической модели АСУ (рис. 1.4) [42, 50].

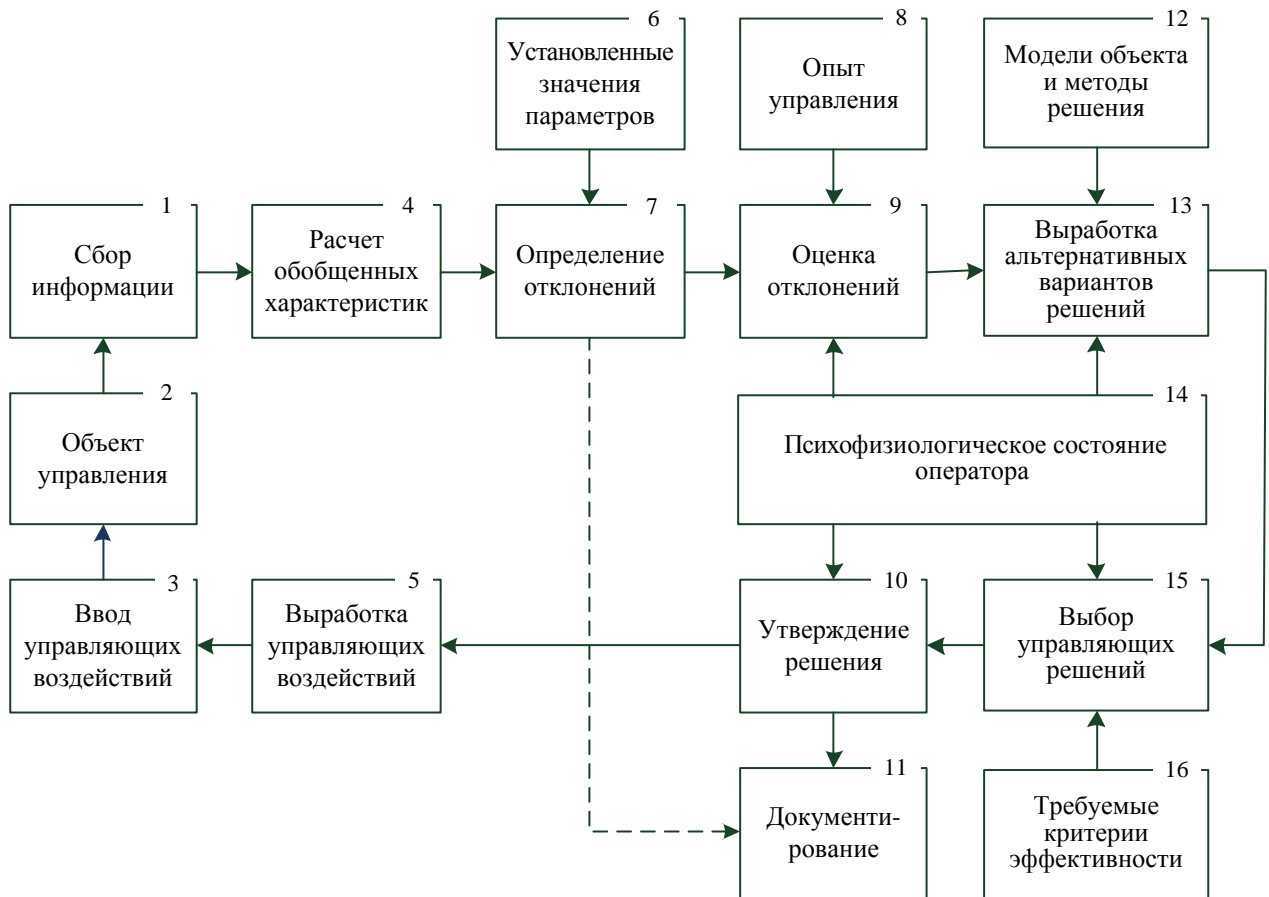


Рис. 1.4. Кибернетическая модель АСУ

Управляющий процесс начинается со сбора информации о состоянии объекта (блок 2) в текущий момент времени (блок 1). Для решения задач управления в большинстве случаев необходимо знать не только значение параметров объекта, но и некоторые обобщенные характеристики объекта (блок 4), часто с учетом ретроспективного их поведения. Указанный блок фактически обеспечивает человека информационной моделью объекта. Зачастую, управление сводится к устранению отклонений состояния объекта от требуемого его поведения, или к управлению движением объекта по «заданной траектории». Сравнение параметров (блок 7) производится на основе значений, задаваемых установкой (блок 6). Система управления должна реагировать на одно и то же отклонение какого-либо параметра от его заданного, требуемого значения. Следовательно, перед принятием решения на выработку управляющего воздей-

ствия следует оценить значимость замеченного рассогласования (блок 9). Оценка отклонений производится непосредственно на основе опыта человека, ведущего управление, и прогнозируемых свойств объекта (блок 8). Если отклонение оказывается существенным, то принимается решение о выработке управляющего воздействия, т.е. фактически в работу включается собственно система управления. На основе информационных моделей объекта управления и заложенных в систему методик расчета (блок 12) вырабатываются альтернативные варианты возможных управляющих решений (блок 13). Оптимизационная задача управления решается на основе оценки вариантов (блок 15) по избранным критериям эффективности (блок 16).

Особенность представленной модели управления заключается в том, что управляющее решение санкционируется субъектом управления (человеком-оператором, управленческим персоналом системы), за которую он несет персональную ответственность (блок 10), качество принятого решения на прямую зависит от его психофизиологического состояния (блок 14).

Сложность определения сущности понятия «психофизиологическое состояние» заключается в том, что различные авторы опираются на разные уровни функционирования человека: одни рассматривают физиологический уровень, другие – психологический, а третьи – тот и другой одновременно [28].

Условно можно принять, что когда речь идет о функциональных состояниях, имеется в виду уровень функционирования человека в целом или его отдельных функциональных систем (сенсорной, интеллектуальной, моторной), а когда говорят о психических состояниях, то речь идет о качественной специфике (модальности переживаний) реагирования человека на ту или иную ситуацию (без учета уровня функционирования). Но поскольку в действительности в психических состояниях сочетаются и уровневые, и модальностные характеристики, то речь должна идти о ПФС. Такая позиция принята в диссертационном исследовании.

ПФС оператора – это комплекс наличных характеристик тех функций и качеств человека, которые прямо или косвенно обуславливают выполнение трудовой деятельности. Это определение проводит грань между состоянием человека и его отдельных физиологических и психологических функций. Данное определение имеет ценную практическую направленность – важно то изменение, которое сказывается на рабочей деятельности оператора. Эти изменения могут быть количественно различны и обуславливаться как внутренними (флюктуация, биологический ритм), так и внешними причинами. В тех случаях, когда независимо от количественных характеристик сдвиг состояния ведет к изменению качества деятельности, говорят об изменении состояния.

Основываясь на приведенном выше определении ПФС, можно дать классификацию состояний. Исходным в такой классификации является нормальное состояние, под которым понимается такой комплекс характеристик оператора, который обеспечивает его включение в непосредственный рабочий процесс. При включении оператора в трудовую деятельность нормальное состояние сменяется рядом других состояний, зависящих как от самой деятельности и внешних факторов среды, так и от исходных физиологических и психологических характеристик человека [28].

Для успешного выполнения профессиональных обязанностей, сохранения здоровья операторов ПДС возникает потребность постоянной оценки психофизиологического состояния операторов и перераспределения закрепленных за ними ПТФ в случае его изменения.

1.3 Подход к распределению производственно-технологических функций, учитывающий психофизиологическое состояние операторов автоматизированных рабочих мест производственно-диспетчерской службы

С точки зрения распределения производственно-технологических функций между операторами ПДС особый интерес представляет работа [1] и перспективный подход, основанный на знаниях – Skills-Based (SB) Management и Knowledge-Based Management (KBM) [110, 114].

SB-менеджмент реализует представление ПТП в виде комплекса взаимосвязанных работ. Выполнение каждой работы заключается в реализации одной или нескольких производственно-технологических функций (ПТФ). Для выполнения производственно-технологической функции оператором или при его участии необходимо, чтобы он владел соответствующими знаниями, умениями и навыками. Автоматизация в рамках SB-менеджмента основана на двух типах моделей: моделей ПТФ и моделей компетенций персонала [7].

Модель, представляющая требуемые уровни компетенций работника $\bar{R}_j = (R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jk}, \dots, R_{jK})$, необходимые для выполнения j -й функции технологического процесса, названа нормативным профилем j -й ПТФ (рабочего места). Для получения $(R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jk}, \dots, R_{jK})$ используются экспертные оценки [22] по балльной шкале. Профиль ПТФ формируется при проектировании техпроцесса и включается в его рабочий паспорт. Нормативные профили всех функций конкретного производственного подразделения ПДС будем представлять в виде матрицы $[R]_{N \times K}$, где N – число функций рассматриваемого производственного подразделения [10].

Набор оценок $\bar{P}_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}, \dots, P_{iK})$, где P_{ik} – фактический уровень (рейтинг) i -го оператора по k -ой компетенции, назван квалификационным профилем (профилем компетенций) i -го оператора ($i = \overline{1, M}$). Методы оценки $(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}, \dots, P_{iK})$ приведены в [7, 22]. Профили M операторов производственного подразделения ПДС представим в виде матрицы $[P]_{M \times K}$.

Модели компетенций операторов должны базироваться на достаточно детализированной классификации навыков и умений. Пример оценки каждого навыка (умения) по 6-балльной шкале приведен ниже (табл. 1.1) [110, 114].

Таблица 1.1 – Оценка навыков и умений

Уровень компетенции	Оценка в баллах
Навыки/умения отсутствуют	0
Общие поверхностные представления	1
Начальный уровень освоения	2
Средний уровень с динамикой роста	3
Полное владение	4
Глубокое освоение, уровень эксперта	5

Матрицы $[P]_{M \times K}$ и $[R]_{N \times K}$ составляют основу задачи распределения ПТФ операторами АРМ ПДС. Основываясь на них, введем оценку важности (значимости) k -й компетенции для выполнения j -й функции

$$r_{jk} = \frac{R_{jk}}{\sum_{k'=1}^K R_{jk'}} \quad (1.1)$$

и относительную оценку адекватности назначения i -го оператора на j -ю функцию с учетом k -й компетенции

$$A_{ijk} = \frac{\min(P_{ik}, R_{jk})}{R_{jk}}. \quad (1.2)$$

Очевидно, что $0 \leq r_{jk} \leq 1$, $\sum_{k=1}^K r_{jk} = 1$ и $0 \leq A_{ijk} \leq 1$.

Тогда абсолютная оценка α_{ijk} адекватности назначения i -го оператора на j -ю функцию с учетом k -й компетенции

$$\alpha_{ijk} = A_{ijk} \times r_{jk} \quad (1.3)$$

позволяет определить адекватность назначения i -го оператора на j -ю функцию:

$$a_{ij} = \sum_{k=1}^K \alpha_{ijk}. \quad (1.4)$$

Очевидно, что $0 \leq a_{ij} \leq 1$.

В [10] введен следующий показатель эффективности закрепления i -го оператора на j -ю функцию:

$$e_{ij} = a_{ij} w_j, \quad (1.5)$$

где w_j – показатель значимости j -й функции, причем $\sum_{j=1}^N w_j = 1$. Также введена

оценка универсальности i -го оператора:

$$V_i = \sum_{j=1}^N e_{ij}. \quad (1.6)$$

Оценка V_i есть не что иное, как потенциальная эффективность полного использования (максимальной производительности) i -го оператора в контексте конкретного технологического процесса, причем $0 \leq V_i \leq 1$, а суммарная оценка для всех операторов $0 \leq \sum_{i=1}^M V_i \leq M$.

Для учета трудоемкости функций рассматривается некоторый плановый период и дополнительно введены следующие показатели:

Q_j – трудоемкость (человеко-часы) выполнения j -й функции ($j = \overline{1..N}$);

q_i – трудовой ресурс (человеко-часы) i -го исполнителя ($i = \overline{1..M}$).

Для формальной постановки оптимизационной задачи закрепления функций за операторами на основе учета их навыков и умений можно использовать подход, предложенный в [7].

В предположении, что каждый оператор может участвовать в нескольких функциях (бизнес-процессах), производительность i -го оператора ($i = \overline{1..M}$):

$$E_i = f_i \sum_{j=1}^N e_{ij} x_{ij}, \quad (1.7)$$

где f_i – оценка его психофизиологического состояния, причем $0 \leq f_i \leq 1$ и оценка $f_i = 1$ соответствует нормальному состоянию; x_{ij} – доля j -й функции, выполняемая i -м оператором, причем $0 \leq x_{ij} \leq 1$.

Оптимизация распределения функций между операторами с учетом их ПФС f_i заключается в нахождении значений x_{ij} , доставляющих максимальное значение общему критерию эффективности [43, 70]

$$E = \sum_{i=1}^M E_i = \sum_{i=1}^M f_i \sum_{j=1}^N e_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \quad (1.8)$$

при условии закрепления достаточного числа операторов за каждой функцией

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1 \quad (j = \overline{1..N}) \quad (1.9)$$

и ограничениях на загрузку операторов

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} Q_j \leq q_i \quad (i = \overline{1..M}). \quad (1.10)$$

1.4 Постановка задачи исследования

Для реализации предложенного подхода на основе решения задачи (1.8) в рамках настоящего исследования необходимо:

- 1) исследовать входные многомодальные интерфейсы АРМ производственно-диспетчерских служб ГДП и ГТП;
- 2) разработать научно-методический инструментарий определения ПФС f_i операторов по информации от входных многомодальных интерфейсов АРМ;
- 3) разработать методику распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ производственно-диспетчерских служб газодобывающих и газотранспортных предприятий.

Следует заметить, что в зарубежной и отечественной литературе проблеме автоматизации управления человеческими ресурсами (работниками, испол-

нителями, операторами АРМ и т.п.) не уделено должного внимания. Как правило, используются методы оперативного планирования деятельности персонала на основе индивидуализации загрузки персонала при изменении надежности его действий [65, 67]. Их недостатком является достаточно длительный (от десятков минут до нескольких часов) интервал оценки показателей надежности на основе архивных записей анализа производительности MES-системы [66].

Решения [2–4], направленные на оперативное определение изменения ПФС оператора АРМ, используют для его оценки, как правило, одномодальный (сигнал клавиатуры) интерфейс взаимодействия оператора с техническими средствами АРМ, что значительно снижает качество принимаемых решений. Кроме того, в работе [62] не достаточно внимания уделено вопросам автоматизации управления персоналом (замене оператора АРМ, перераспределению его функций и т.д.), что неизбежно влечет за собой снижение эффективности такого процесса.

Таким образом, повышение производительности операторов ПДС может быть достигнуто за счет совершенствования научно-методического аппарата оценки психофизиологического состояния операторов по информации от многомодального входного интерфейса АРМ, и его применении на основе разработанного подхода к распределению производственно-технологических функций операторов.

1.5 Выводы по первой главе

1. Одной из ключевых составляющих обеспечения эффективного управления газотранспортной системой России является комплексная автоматизация производственно-диспетчерских служб дочерних обществ ОАО «Газпром» – газодобывающих и газотранспортных предприятий.

2. Существующие и вновь создаваемые интегрированные MES-SCADA-ERP АСУТП газодобывающих и газотранспортных предприятий не предусматривают полноценного управления персоналом производственно-диспетчерских служб.

3. Предложен подход к распределению производственно-технологических функций между операторами АРМ производственно-диспетчерских служб, основанный на нормативных профилях производственно-технологических функций и квалификационных профилях операторов и учитывающий психофизиологическое состояние последних.

4. Повышение производительности операторов ПДС может быть достигнуто за счет совершенствования научно-методического аппарата оценки психофизиологического состояния операторов по информации от многомодального входного интерфейса АРМ, и его применению на основе разработанного подхода к распределению производственно-технологических функций операторов.

ГЛАВА 2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА, ОБЪЕДИНЯЮЩАЯ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЖИТТЕРА СИГНАЛОВ МНОГОМОДАЛЬНОГО ВХОДНОГО ИНТЕРФЕЙСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА

2.1. Исследование многомодальных входных интерфейсов автоматизированных рабочих мест производственно-диспетчерских служб

Разработка средств эффективного взаимодействия человека с техническими средствами сегодня является одним из приоритетных направлений развития искусственного интеллекта и информатики в целом. Это связано с тем, что уже сейчас возможности АРМ не используются в полной мере из-за отсутствия полноценного, привычного человеку интерфейса взаимодействия. Большинство компьютерных приложений используют графический пользовательский интерфейс, который обеспечивает весьма ограниченный способ взаимодействия: печать с помощью клавиатуры, управление виртуальными объектами курсором «мыши» и отображение визуальной информации в виде текста и изображений на экране монитора [51, 78].

Для решения глобальной проблемы человеко-машинного взаимодействия стали использовать дополнительные виды каналов передачи информации: речь, артикуляция губ, жесты, направление взгляда и т.д. В результате получили развитие так называемые многомодальные интерфейсы (рис. 2.1), обеспечивающие наиболее эффективное и естественное для человека взаимодействие с различными средствами автоматизированного управления.

В многомодальных системах информация от текстового, акустического, визуального и тактильного коммуникативных каналов непрерывно отслеживается и обрабатывается, создавая реальное или виртуальное окружение, позво-

ляющее удовлетворить желания оператора и оперативно адаптироваться к текущей задаче и другим прикладным аспектам.

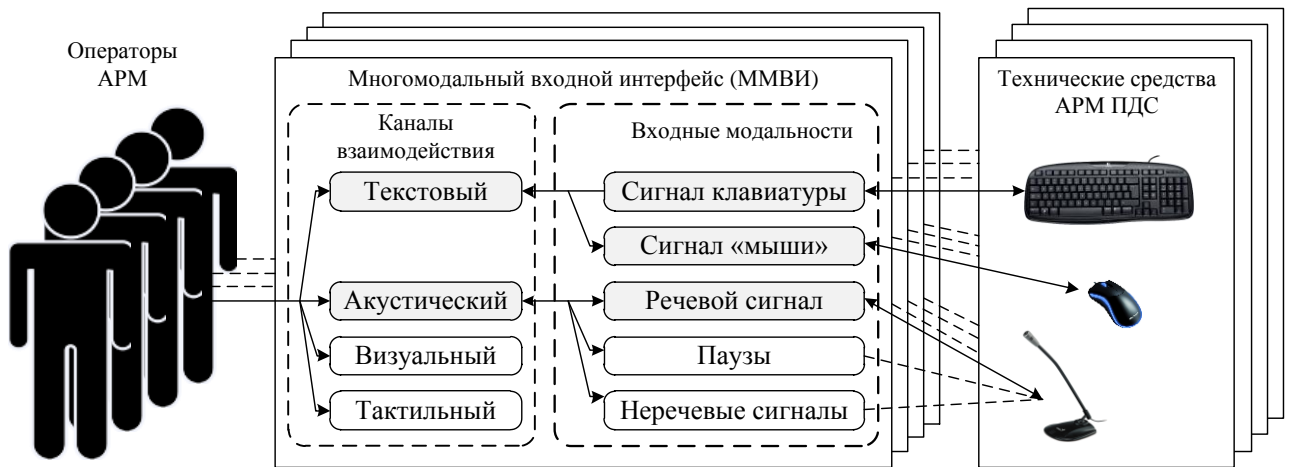


Рис. 2.1. Общая структура взаимодействия операторов и технических средств автоматизированных рабочих мест производственно-диспетчерской службы

Входные модальности АРМ на данный момент ограничены достижениями технологий распознавания. Соответствующая компьютерная система предоставляет вывод информации пользователю, выбирая одну или несколько сред вывода, которые человеческая система ввода (или каналы) интерпретирует, основываясь на способностях познания. Здесь «ввод» рассматривается как поток информации от человека к компьютеру, а «вывод» от компьютера к человеку. Если мультимедийные системы вывода информации известны и применяются уже давно (они используют одновременный вывод звука, видео, анимации, синтез речи и т.д.), то многомодальные системы ввода информации находятся еще только в начале своего развития.

В настоящее время за рубежом многомодальные интерфейсы уже используются в некоторых прикладных областях: картографических системах, системах виртуальной реальности, медицинских системах, робототехнике, web-приложениях и т.д. [107]. Проблемы человеко-машинного взаимодействия и проектирования многомодальных и речевых интерфейсов исследовались в рам-

ках европейских рамочных программ, в частности в проектах CHIL IST-506909, AMI - IST506811, LUNA IST- 033549, SIMILAR- IST-507609, HUMAINE IST-507422. В рамках текущих проектов программы FP7 основное внимание уделяется анализу поведения человека и его коммуникативным возможностям при взаимодействии с людьми и автоматизированными системами: SEMAINE IST-211486, PROMETHEUS IST-214901, LIREC IST-215554, HUMOUR IST-231724, SCANDLE IST- 231168, HUMANOBS IST- 231453, EMIME IST-213845, CLASSIC IST- 216594, CHRIS IST-215805, CO-FRIEND IST-214975, DIPLECS IST- 215078. В России научные исследования по данному направлению ведутся лабораторий речевых и многомодальных интерфейсов СПИИРАН [60].

Успехи в обработке речи, компьютерном зрении и композиции сцен (регистрация виртуальных объектов, трехмерные образы, синтезированная речь и т.д.) позволяют сделать прорыв в области взаимодействия человека с компьютером. Параллельно с цифровой обработкой сигналов активно ведутся работы по изучению процессов мышления и коммуникации, как между людьми, так и с машиной. Моделирование задач, построение диалоговых систем осуществляется с учетом когнитивной психологии, эргономики. Это позволяет выбрать оптимальные каналы взаимодействия и способы синхронизации различных видов информации для ввода и вывода.

С точки зрения решаемой в диссертации научной задачи следует рассматривать многомодальные интерфейсы, использующие:

- 1) традиционный ввод с помощью клавиатуры и «мыши», как наиболее распространенные при взаимодействии человека с АРМ на основе ПЭВМ. Клавиатура может состоять всего из нескольких кнопок (пульт управления) или содержать до сотен кнопок (компьютерные клавиатуры). «Мышь» используется для отслеживания некоторой траектории движения;

- 2) речевой сигнал как средство передачи информации при взаимодействии (общении) операторов друг с другом.

В многомодальных интерфейсах АРМ ПДС информация от текстового и речевого коммуникативных каналов непрерывно отслеживается и обрабатывается, позволяя удовлетворить желания оператора и оперативно адаптироваться к текущей задаче и другим прикладным аспектам. Такие интерфейсы потенциально более робастны и устойчивы в работе, чем одномодальные интерфейсы (например, только ввод с клавиатуры) [60], и позволяют повысить точность определения ПФС оператора АРМ, выполняющего различные ПТФ.

Все методы оценки ПФС можно разделить на следующие группы [28]:

- наблюдение за поведением и экспрессией человека;
- опрос человека о его переживаниях в данный момент;
- измерение физиологических показателей (частота пульса и дыхания, газообмена и т. д.);
- измерение психологических показателей (времени реакции, концентрации и переключения внимания и т. п.);
- пролонгированная фиксация эффективности деятельности.

В большинстве случаев методологическим положением, указывающим, как надо диагностировать состояние человека, является следующее: «Исследование функционального состояния должно проводиться с помощью достаточно широкого набора методик с целью последующего объединения полученных показателей в общую интегральную оценку» [28, с. 81]. Центральной проблемой является выбор из большого числа имеющихся наиболее надежных и удобных для практического использования методик.

С точки зрения оценки ПФС оператора при его взаимодействии с техническими средствами АРМ по текстовому и речевому каналам можно выделить следующие методы измерения показателей.

Дистанционная сетевая биометрия [105], согласно которой каждому пользователю присущ уникальный паттерн движения курсора в процессе взаимодействия с Web-страницей. Сбор и сопоставление паттернов различных

испытуемых для идентификации ПФС пользователя по движению курсора основан на параметрическом обучении и статистической классификации последовательностей.

Автоматизация процесса определения ПФС человека-оператора АРМ, основанная на биометрической обработке его клавиатурного почерка и определении параметров его состояния на основе теории нейронных сетей [2–4]. Параметром, характеризующим ПФС оператора АРМ, является относительное отклонение моторных функций от эталонного представления. Представление моторных функций – это использование клавиатурного почерка в виде временных соотношений между нажатиями клавиш и времени нажатия самих клавиш. При использовании для определения ПФС последовательностей из двух нажатий, входной информацией являлись значения времени удержания первой клавиши, времени между нажатием первой и второй клавиши, временем удержания второй клавиши. В качестве инструментария для решения задачи определения степени отклонения от эталона использовалась искусственная нейронная сеть типа многослойный персептрон.

Метод распознавания эмоций по голосу, основанный на анализе скорости, интенсивности и интонационного паттерна при выводе оценки эмоциональной окраски. Паттерны голоса сопоставляются с мерой выраженности основных ПФС [104].

Указанные методы позволяют осуществлять дистанционные (бесконтактные) психометрические измерения, но ввиду их новизны являются недостаточно апробированными и требуют дальнейших исследований в направлении обоснования информативности применяемых критериев.

Используемый показатель должен наиболее полно отражать функциональное состояние исследуемой системы, т. е. быть адекватен выполняемой ею работе. Кроме того необходимо, чтобы выбираемый

показатель обладал определенной степенью устойчивости, реагируя не на любое колебание параметра, а фиксируя изменение ПФС. В то же время нельзя допустить использования слишком грубых показателей, способных уловить только ярко выраженные изменения [34].

С этой точки зрения, особый интерес представляют работы [90, 99, 112, 113], в которых для определения отклонений ПФС используются статистические характеристики джиттера основного тона (ОТ) речевого сигнала.

Под джиттером периода ОТ понимается [113] изменение данного периода, оцениваемое путем вычитания из каждого значения последовательности значений периода ОТ его ближайшего (предшествующего) значения или их комбинации. Приводятся экспериментальные данные о возможности разделения джиттера периода ОТ на постоянную и случайную компоненты [90, 112], хорошо согласующиеся с акустическими особенностями речеобразования: характером колебаний голосовых связок (включая нерегулярность), состоянием артикуляционного аппарата при речеобразовании, а также определенным воздействием пульсации кровотока [30, 53]. Имеются результаты оценки патологии голосового тракта человека по характеристикам джиттера ОТ его речи [113].

Имеющиеся предпосылки использования поведенческих характеристик человека, определяющих аритмичность (апериодичность, тремор) его действий при изменении ПФС, требуют:

1) единого формального представления сигналов ПФС в виде джиттера сигналов ММВИ АРМ:

$$Jitter_t^{(l)} = T_t - T_{t-1}, \quad (2.1)$$

где T_t – значение периода, вычисленное на t -м фрагменте l -го сигнала ПФС;

2) разработки единого методологического аппарата определения интегральных характеристик джиттера $z(Jitter^{(i)})$;

3) установления взаимосвязи между указанными характеристиками $z(Jitter^{(i)})$ и отклонениями ПФС f_i оператора АРМ от нормального состояния.

Единый подход к формализации и исследованию сигналов является характерной особенностью многомодальных интерфейсов, позволяющей на основе одинакового математического и программного обеспечения производить оценку ПФС человека по доступным для анализа модальностям. Установление зависимости последней от интегральных характеристик сигналов ММВИ составляют основу задачи моделирования ПФС оператора.

2.2. Математическая модель психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места

Человеко-машинные системы служат фундаментальным объектом инженерной психологии, психологии труда и психофизиологии [13]. Человек как основное звено таких систем характеризуется способностью к переработке информации. Этот процесс может быть оптимальным лишь в случае оптимального рабочего состояния человека-оператора. Такое состояние характеризуется отсутствием скрытых форм утомления и отрицательного отношения субъекта, а также полным восстановлением функциональных сдвигов в ходе работы [19]. Оптимизация целостного процесса обработки информации связана с уменьшением затрат времени и энергии и повышением качества работы. Так как указанный процесс осуществляется центральной нервной системой, он определяется так называемой мозговой, или умственной, работоспособностью. Фактическая умственная работоспособность характеризуется объемом целесообразной деятельности по переработке информации, выполняемой с определенной интенсивностью в течение заданного времени, при заданных критериях качества, на

заданном уровне надежности. В связи с этим показателями умственной работоспособности считают производительность, точность, скорость выполнения тех или иных операций, помехоустойчивость и другие, т. е. сугубо информационные, критерии.

Под умственной работоспособностью можно понимать определенный объем умственной (мозговой, психической, нервной) работы, связанной с обработкой информации. Этот объем работы должен быть выполнен без снижения заданного (или установившегося на максимальном, оптимальном для данного индивидуума) уровня функционирования организма. Такое определение не противоречит формулировкам различных авторов. По Г.С. Никифорову [36], работоспособность – это состояние системы человек-техника, при котором в данный момент времени она способна выполнить заданные функции с выходными параметрами, соответствующими требованиям данной задачи. А.С. Егоров и В.П. Загрядский [21] работоспособность определяют как способность человека к выполнению конкретной (например, операторской) деятельности в рамках заданных временных лимитов и параметров эффективности.

Предполагают, что динамика умственной работоспособности связана с динамикой функционального состояния организма, хотя эта связь и не является однозначной [21]. В определенных случаях задачу прогнозирования умственной работоспособности можно свести к оценке надежности человека-оператора. Однако чаще (особенно в физиологии труда) практически невозможно учесть количественно объем умственной работы. Можно лишь качественно выделить разную степень напряженности умственного труда на основании эргономических, психологических и социологических критериев. При этом психофизиологические показатели состояния организма являются ведущими, в то время как оценка надежности оператора в человеко-машинных системах наряду с физиологическим анализом допускает и количественный анализ самой деятельности.

Работоспособность человека-оператора зависит от степени эмоционального напряжения и внимания [13]. Эти качества, определяющие состояние оператора, можно оценить на основании анализа его деятельности, по специальным тестирующим сигналам или по сдвигам физиологических функций, которые могут быть обозначены как сигналы состояния человека-оператора. Снижение надежности оператора связано с появлением ошибок, поэтому именно прогноз вероятности ошибочных действий составляет задачу прогнозирования умственной работоспособности. Таким образом, прогнозирование умственной работоспособности человека-оператора заключается в том, чтобы определить момент такого снижения уровня функционирования организма, при котором оператор не может должным образом выполнять функции управления.

При прогнозировании умственной работоспособности важно учитывать индивидуальные особенности человека-оператора. А.М. Зингерман и Б.М. Шишкин [26], выделяя регуляционно устойчивый и неустойчивый типы операторов, показали, что их реакции в процессе управляющей следящей деятельности существенно различаются. Так, у оператора второго типа увеличивались частота пульса и биоэлектрическая активность шейных мышц, стратегия управления была негибкой, в ответ на стрессовую ситуацию повышались неустойчивость работы и степень дезорганизации системы. Известно, что у лиц, чаще попадающих в аварийные ситуации, обычно наблюдается эмоциональная и вегетативная неустойчивость.

Важными особенностями умственного труда являются утомление и повышенное нервно-эмоциональное напряжение. Исследованиями различных авторов подтверждается высокая информативность математического анализа сердечного ритма, определения содержания натрия в слюне и регистрации основных показателей гемодинамики при оценке напряженности умственного труда. Развитие утомления является причиной снижения умственной работоспособности, а утомление возникает в результате перенапряжения и астенизации регуля-

торных механизмов вследствие истощения функциональных резервов. «Трудовой стресс» вызывает соответствующую адаптационную реакцию организма, которая протекает по-разному при физических и умственных нагрузках и даже при разных видах умственной нагрузки. Однако общими этапами такой реакции являются первичное напряжение регуляторных механизмов и заключительное истощение функционального резерва с появлением преморбидных состояний.

Взаимосвязь между утомлением, работоспособностью и напряженностью при умственном труде является объектом пристального внимания физиологов, гигиенистов и психологов. Общие закономерности развития утомления, по видимому, едины для мышечной и умственной работы. Однако при умственной деятельности важное значение приобретает вопрос о локализации первично возникающих сдвигов. С классических позиций (И. П. Павлов, И. М. Сеченов, П. Е. Введенский) утомление рассматривается как защитная реакция, при которой развивается охранительное торможение в коре головного мозга.

С другой точки зрения, основное значение имеют изменения в подкорковых центрах и отделах центральной нервной системы, которые, влияя на кору головного мозга, вызывают в ней функциональные изменения.

В задачи диссертационного исследования не входит анализ обширной литературы, посвященной вопросам умственного утомления, а акцентируется внимание на том, что существуют взгляды на умственное утомление как на результат нарушения корково-подкорковых взаимоотношений, при которых имеются одновременные сдвиги в деятельности и коры головного мозга (снижение умственной работоспособности), и сдвиги со стороны вегетативных функций. Выраженность этих сдвигов может быть неоднозначной.

При прогнозировании умственной работоспособности следует исходить из хорошо изученной ее типичной динамики. А. С. Егоров и В. П. Загрядский [21] предлагают различать следующие периоды умственной работы.

1. Вработываемость – характерные колебания продуктивности работы, обусловленные поиском оптимального уровня. В этом периоде формируется новая функциональная система, ориентированная на достижение требуемого результата деятельности, для чего необходимо определенное напряжение регуляторных механизмов.

2. Оптимальная работоспособность – стабильный уровень умственной работоспособности, соответствующий заданному или характерный для данного индивидуума. В этом периоде уровень функционирования физиологических систем организма адекватен умственной (психической) нагрузке.

3. Полная компенсация, отличительной чертой которой является возникновение начальных признаков утомления (без снижения уровня работоспособности) и усиление активности неспецифических нейрогуморальных механизмов, обеспечивающих умственную работу и деятельность человека. Такая компенсация связана с определенным напряжением нервно-психических и вегетативных процессов.

4. Неустойчивая компенсация характеризуется нарастающим утомлением и снижением работоспособности. При этом волевые усилия человека позволяют еще некоторое время поддерживать умственную работоспособность на заданном необходимом уровне. В этом периоде выявляются рассогласование физиологических систем с разнонаправленным изменением показателей: в одних случаях увеличение, обусловленное активацией в связи с участием в процессах компенсации, в других – снижение, обусловленное развитием истощения «отказа») в определенных системах.

5. Прогрессивное снижение работоспособности с быстрым нарастанием утомления и снижением продуктивности работы.

Нетрудно заметить, что указанные периоды хорошо вписываются в рассматриваемую Р.М. Баевским [13] классификацию степеней напряжения регуляторных механизмов: напряжение, перенапряжение, истощение. Так, период

вработывания характеризуется вначале развитием напряжения регуляторных систем, а затем адаптацией к нагрузке, т. е. переходом к адаптированности (состояние, пограничное между нормой и напряжением). Это состояние соответствует периоду оптимальной работоспособности. Период неустойчивой компенсации отражает вторичное развитие напряжения регуляторных механизмов, обусловленное повышением «цены» адаптации к нагрузке. Дальнейшая работа ведет к развитию перенапряжения механизмов регуляции, что соответствует периоду неустойчивой компенсации с разнонаправленными изменениями физиологических показателей.

Наконец, период прогрессивного снижения умственной работоспособности соответствует стадии истощения (астенизации) регуляторных механизмов.

Исходя из приведенных подходов и классификаций умственной работоспособности оператора АРМ, модель ПФС f_i оператора должна описываться непрерывной, монотонной и гладкой функцией, учитывать степени напряжения регуляторных механизмов и обозначенные выше периоды умственной работоспособности. Кроме того, с учетом ограничений задачи (1.8) выходной параметр модели ПФС оператора должен носить вероятностный характер, позволяя напрямую получать оценки f_i при $0 \leq f_i \leq 1$ и соответствии оценки $f_i = 1$ нормальному состоянию.

Тогда модель ПФС оператора может быть основана на логистической функции Е.К. Харрингтона, также называемой «кривой желательности» (рис. 4.3):

$$d^{(i)} = \exp[-\exp(-y^{(i)})] \quad (2.2)$$

с двумя участками насыщения (при $d \rightarrow 0$ и $d \rightarrow 1$) и линейным участком ($d = 0,2...0,63$).

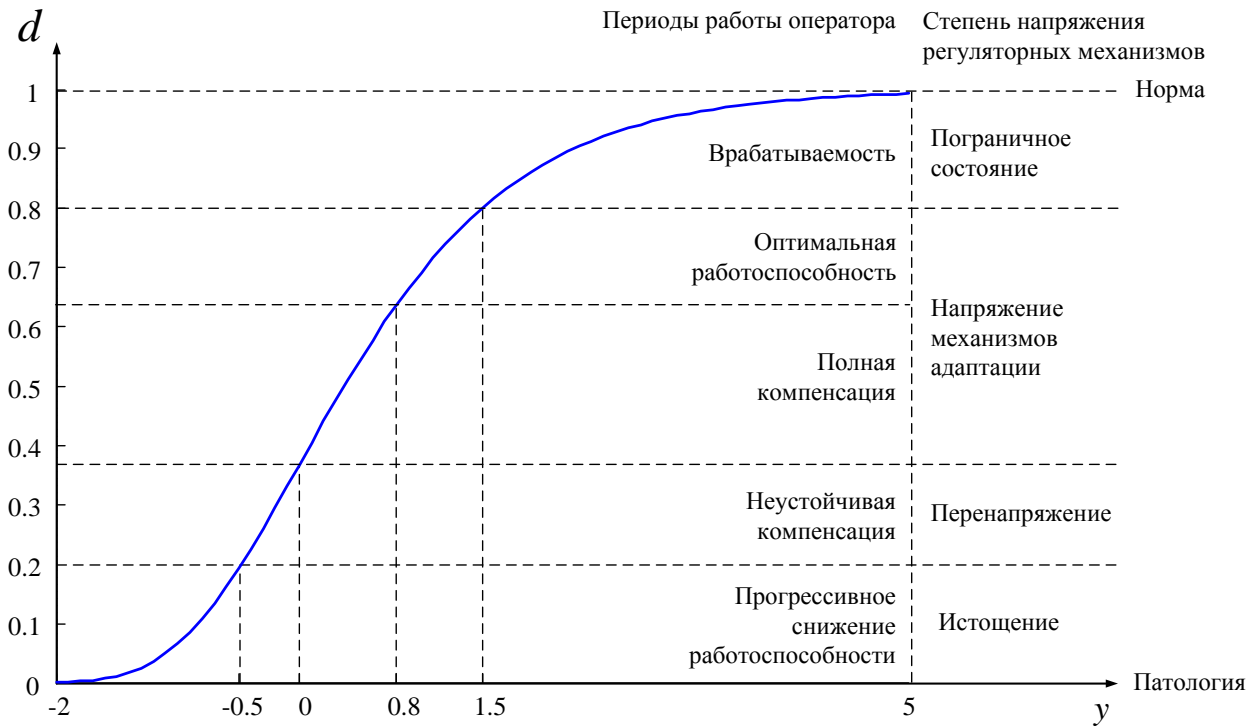


Рис. 2.2. Функция желательности Харрингтона

Значения характеристик ПФС распределяются в масштабе, соответствующем предъявляемым к ним требованиям, на промежутке эффективных значений шкалы частных показателей y :

$$y^{(l)} = \frac{z_{\max}^{(l)} - z(\text{Jitter}^{(l)})}{z_{\max}^{(l)} - z_{\min}^{(l)}}, \quad (2.3)$$

где $z(\text{Jitter}^{(l)})$ – значение интегральной характеристики джиттера в исходной шкале; $z_{\max}^{(l)}$ и $z_{\min}^{(l)}$ – верхняя и нижняя границы области «Полная компенсация» в исходной шкале [35].

Количество доступных для анализа сигналов $\text{Jitter}^{(l)}$ ($l = \overline{1, S}$) ПФС изменяется во времени и зависит от числа используемых (доступных) каналов ММВИ АРМ. Для их объединения исследованы соответствующие стратегии (рис. 2.3) и методы (рис. 2.4) [79–81, 83, 86, 87, 98, 101, 103, 106, 108, 109, 115, 123, 124].

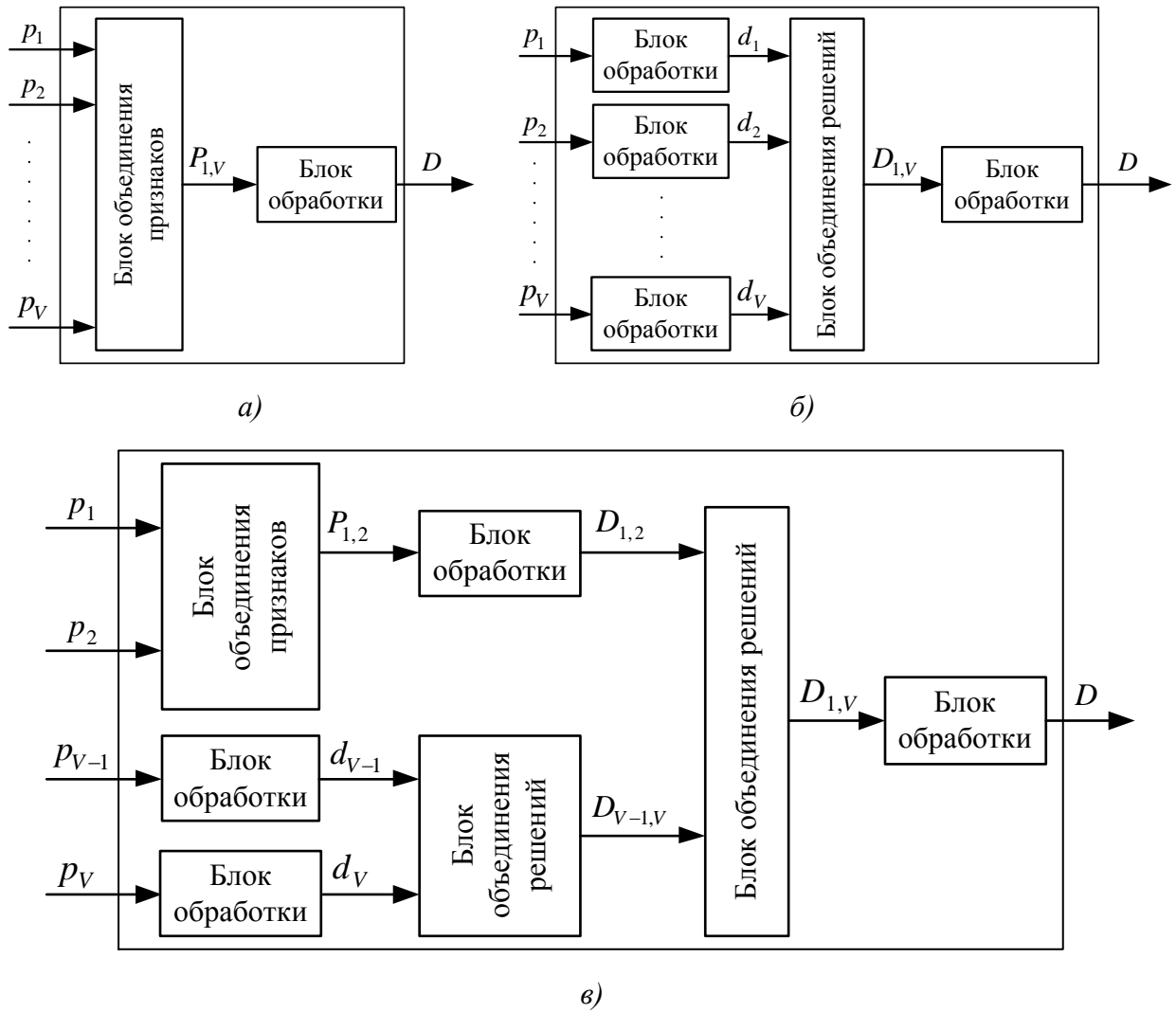


Рис. 2.3. Стратегии раннего (а), позднего (б) и гибридного (в) объединения информации о ПФС оператора:

$p_1 \dots p_s$ – признаки сигналов входных модальностей; $P_{1,s}$ – вектор признаков;

$d_1 \dots d_s$ – локальные решения; $D_{1,V}$ – вектор локальных решений; D – итоговое решение

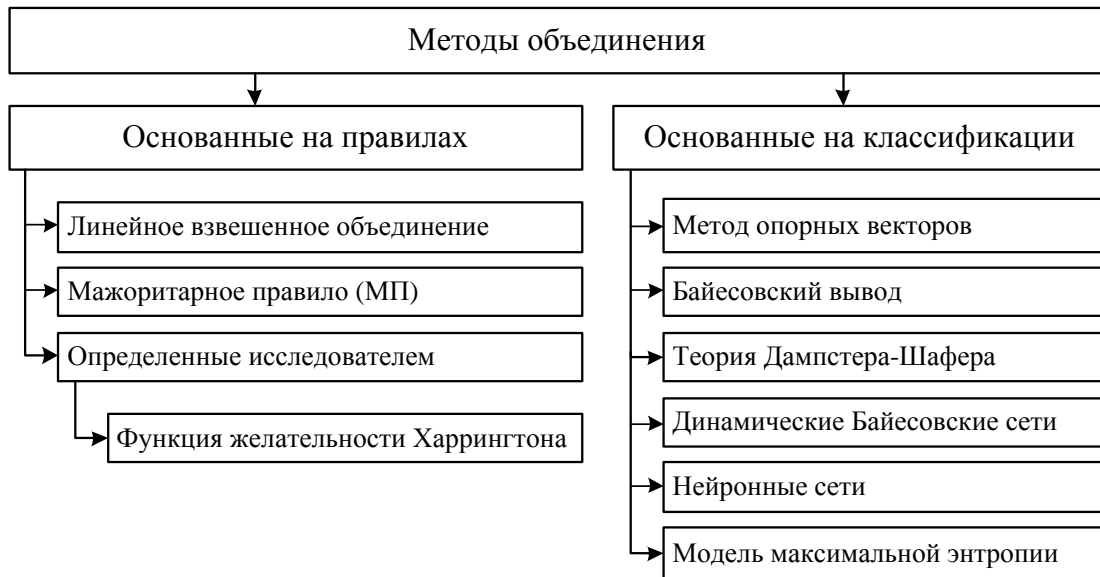


Рис. 2.4. Классификация методов объединения информации

На основе проведенного анализа методов объединения информации от ММВИ АРМ (рис. 2.4) сделаны следующие выводы:

- широкое распространение получили метод опорных векторов и динамические Байесовские сети, используемые, как правило, на уровне объединения признаков (ранее объединение);
- динамические Байесовские сети являются самым вычислительно емким методом и требуют сложной процедуры обучения;
- наиболее подходящими для решения вопроса синхронизации являются методы, основанные на правилах, определенных исследователями.

К последним относится обобщенная функция желательности Харрингтона [54, 55], применяемая в стратегии раннего объединения и позволяющая в окончательном виде представить модель ПФС оператора:

$$f_i = \sqrt[s]{d^{(1)} \cdot d^{(2)} \cdot \dots \cdot d^{(s)}}, \quad (2.4)$$

где S – число доступных для анализа сигналов ПФС оператора; $d^{(l)}$ – локальные решения о ПФС оператора, полученные с использованием выражений (2.2)–(2.3) на основе интегральных характеристик $z(Jitter^{(l)})$ сигналов ПФС

оператора. Для формирования данных сигналов разработаны соответствующие алгоритмы оценивания величин T_i (2.1).

2.3. Алгоритмы формирования джиттера сигналов многомодального входного интерфейса автоматизированного рабочего места

В общем случае, под джиттером некоторого квазипериодического сигнала будем понимать изменение его периода, оцениваемое путем вычитания из каждого значения последовательности значений периода его ближайшего (предшествующего) значения (2.1). Рассмотрим процесс формирования T_i для сигналов текстового и речевого каналов ММВИ АРМ.

2.3.1 Джиттер периода основного тона речевого сигнала

Несмотря на огромное число предложенных алгоритмов [12, 53, 68, 99], задача практического построения помехоустойчивых анализаторов ОТ, надежно функционирующих в присутствии акустического шума или при ограничении частотного диапазона речи, еще далека до окончательного решения.

Для использования в различных условиях человеко-машинного взаимодействия разработан и реализован в [6] алгоритм определения периода ОТ (рис. 2.5), исходными данными для функционирования которого являются: K – длительность временного окна анализа; N – размерность преобразования Фурье; μ – допустимое отклонение траектории ОТ; $s(n)$ – анализируемый речевой сигнал.

На начальном этапе функционирования алгоритма осуществляется фильтрация исходного речевого сигнала $s(n)$ фильтром нижних частот (ФНЧ) с полосой пропускания 0-500 Гц.

Далее на каждом интервале идентификации (длительностью N отсчетов) вычисляется нормированная функция автокорреляции [88]:

$$r(l) = \frac{c[0, l, l]}{\sqrt{c[0, 0, l]c[l, l, l]}}, \quad (2.5)$$

где

$$c[f, g, h] = \sum_{i=-\lfloor h/2 \rfloor - N/2}^{-\lfloor h/2 \rfloor + N/2} s[i+f]s[i+g]$$

для всех значений задержки $l = \overline{16, 160}$, соответствующих частотам ОТ от 50 до 500 Гц¹.

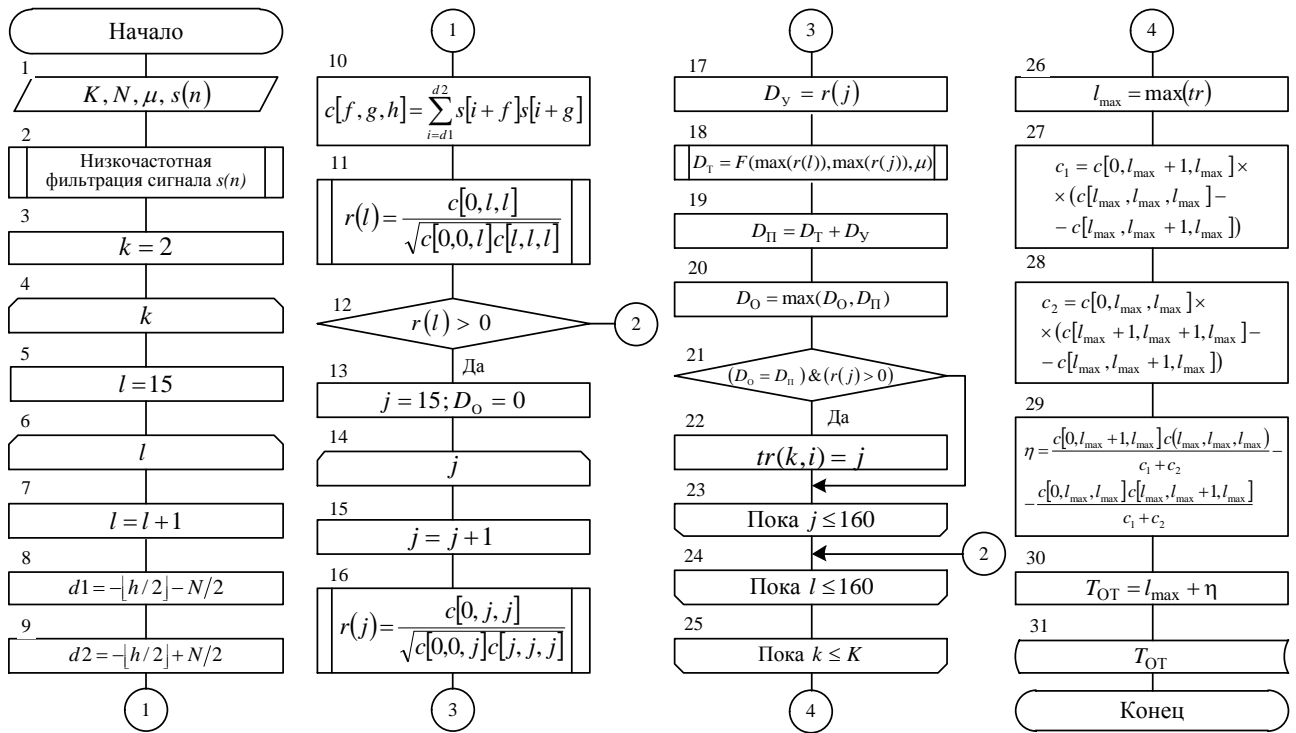


Рис. 2.5. Алгоритм определения периода ОТ речевого сигнала

Если бы речевой кадр был строго периодичным, акустический шум – стационарным белым, а длина окна анализа K достаточно большой, то задача

¹ Значения задержек l однозначно связаны с периодом ОТ соотношением lT_D , где $T_D = 1/2F_B$ – период дискретизации речевого сигнала; F_B – верхняя частота среза ФНЧ

оценки задержки ОТ l_{\max} сводилась бы к нахождению аргумента глобального максимума функции (2.5):

$$l_{\max} = \arg \max_l r(l). \quad (2.6)$$

Для кадров реального РС (в виду его нестрогой периодичности) такой подход порождает большое число ошибок.

Истинная оценка ОТ будет лежать среди кандидатов из указанного множества. При анализе функции (2.5) обычно используются различные правила сортировки кандидатов, например следующее [116]:

$$\forall l_{cand} \quad \text{if } r(l_{cand}) > c \cdot r(l_{\max}) \text{ then } l_{\max} = l_{cand}, \quad (2.7)$$

где c – порог, изменяющий баланс ошибок определения ОТ и минимизирующий их общее количество. Однако, количество грубых ошибок (приводящих к резкому ухудшению разборчивости синтезированной речи) идентификатора ОТ для зашумленных сигналов все еще остается существенным. Особенно много ошибок возникает в начале и конце вокализованных участков, где степень вокализации (а, следовательно, и величина максимумов функции (2.5)) мала. Это объясняется, во-первых, тем, что решение принимается независимо для каждого из кадров без учета информации о возможной траектории ОТ, которая для квазистационарных участков гласных звуков речи в первом приближении представляет собой достаточно плавную линию, характеризующую высоту голоса говорящего и общую интонацию высказывания. Во-вторых, длительность указанных квазистационарных участков значительно меньше принятой длины окна анализа K .

Истинные оценки ОТ для смежных участков вокализованных звуков сильно коррелируют, поэтому дальнейшее снижение ошибок идентификатора ОТ возможно с учетом указанной зависимости в решающем правиле. Функция $r(l)$ носит многомодальный характер, а величина ее локального максимума в окрестности истинного периода ОТ отражает соотношение энергий периодиче-

ской и шумовой компонент речевого сигнала. Величины локальных максимумов $r(l_{cand\ i})$ могут служить некой мерой правдоподобия оценки задержки ОТ данным значением $l_{cand\ i} \in \{l_{cand}\}$ при проверке соответствующих гипотез. С другой стороны, для речевого сигнала в присутствии акустического шума выборочные оценки нормированной функции автокорреляции (2.5) испытывают значительные случайные отклонения. Поэтому для оценки наиболее вероятной траектории ОТ имеет смысл проводить совокупный анализ группы смежных интервалов адаптации, учитывающий вероятности возможных кандидатов на оценку ОТ для каждого из участков длительностью K [99]. При этом, учитывая оценки различных исследователей [56, 63], следует принять $K/4 = 40$ отсчетов (5 мс), а задачу поиска траектории ОТ сформулировать как задачу динамического программирования [16] поиска пути, максимизирующего общую вероятность появления оценок ОТ для группы участков РС.

В разработанном решающем правиле задача динамического программирования сформулирована следующим образом: для интервала идентификации с номером k ищутся аргументы всех положительных локальных максимумов функции (2.5), образующие множество $\{l_{cand}^{(k)}\}$, состоящее из $I^{(k)}$ кандидатов на оценку задержки ОТ для данного интервала (длительности K). Множества кандидатов для смежных интервалов с номерами $k, k+1, \dots, k+K_{OT}-1$ образуют столбцы решетки, через узлы которой вероятнее всего пролегает траектория ОТ. Стоимость узла для k -го интервала и кандидата $l_{cand\ i}^{(k)} \in \{l_{cand}^{(k)}\}$ выбирается пропорционально величине локального максимума:

$$d_y(l_{cand\ i}^{(k)}) = r(l_{cand\ i}^{(k)}). \quad (2.8)$$

Стоимость пути перехода траектории ОТ между узлами решетки от кандидата $l_{cand\ i}^{(k)}$ для i -го интервала к кандидату $l_{cand\ t}^{(k+1)}$ для t -го интервала учитывает рас-

стояние между кандидатами для смежных интервалов и отражает вероятность изменения траектории ОТ:

$$d_T(l_{cand\ i}^{(k)}, l_{cand\ t}^{(k+1)}) = \begin{cases} 0, & \text{если } |l_{cand\ i}^{(k)} - l_{cand\ t}^{(k+1)}| \leq \mu \cdot l_{cand\ i}^{(k)} \\ -\infty, & \text{если } |l_{cand\ i}^{(k)} - l_{cand\ t}^{(k+1)}| > \mu \cdot l_{cand\ i}^{(k)} \end{cases}, \quad (2.9)$$

а скачки траектории ОТ, выходящие за границы допустимого отклонения μ , не рассматриваются. Оценка наиболее вероятной траектории ОТ на протяжении K_{OT} интервалов идентификации осуществляется выбором оптимального пути между узлами решетки $l_{cand}^{(k)}, l_{cand}^{(k+1)}, \dots, l_{cand}^{(k+K_{x_{1,2}}-1)}$, максимизирующего функционал общей стоимости вида

$$\begin{aligned} D_{\Pi}(l_{cand}^{(k)}, l_{cand}^{(k+1)}, \dots, l_{cand}^{(k+K_{OT}-1)}) &= \\ &= \sum_{i=0}^{K_{OT}-2} (d_Y(l_{cand\ i}^{(k)}) + d_T(l_{cand\ i}^{(k)}, l_{cand\ i+1}^{(k+1)})) + d_Y(l_{cand\ i}^{(k+K_{OT}-1)}), \end{aligned} \quad (2.10)$$

где k – индекс интервала идентификации, K_{OT} – количество смежных интервалов, участвующих в сглаживании траектории ОТ.

Далее с учетом принятого значения K речевой кадр делится на 4 подкадра. При этом идентификация ОТ проводится по 6 таким подкадрам в 2 этапа. Сначала ищется наиболее вероятная траектория ОТ (2.10) для последнего подкадра прошлого и двух первых подкадров текущего кадра (K_{OT}). По найденным значениям оценок ОТ (узлам решетки) с учетом правила (2.10) определяется оценка задержки ОТ $l_{\max(1)}$ для первой половины анализируемого речевого кадра. Затем определяется функционал (2.10) для третьего и четвертого подкадров текущего и первого подкадра следующего речевого кадра и значение $l_{\max(2)}$ для второй половины анализируемого речевого сообщения. В качестве целочисленного значения l_{\max} задержки ОТ для всего кадра речевого сигнала из двух оценок ($l_{\max(1)}$ и $l_{\max(2)}$) выбирается оценка, принадлежащая траектории с большим значением D_{Π} (2.10). После чего вычисляется дробное значение задержки ОТ:

$$\eta = \frac{c[0, l_{\max} + 1, l_{\max}]c(l_{\max}, l_{\max}, l_{\max}) - c[0, l_{\max}, l_{\max}]c[l_{\max}, l_{\max} + 1, l_{\max}]}{c_1 + c_2}, \quad (2.11)$$

где

$$c_1 = c[0, l_{\max} + 1, l_{\max}] (c[l_{\max}, l_{\max}, l_{\max}] - c[l_{\max}, l_{\max} + 1, l_{\max}]),$$

$$c_2 = c[0, l_{\max}, l_{\max}] (c[l_{\max} + 1, l_{\max} + 1, l_{\max}] - c[l_{\max}, l_{\max} + 1, l_{\max}]).$$

Итоговое значение ОТ будет определяться как

$$T^{\text{ОТ}} = l_{\max} + \eta. \quad (2.12)$$

Особенностями разработанного алгоритма идентификации ОТ по сравнению с существующими решениями [12, 88] являются: ограничение поиска траектории ОТ конечным числом точек с целью реализации идентификатора в реальном масштабе времени; использование комбинированного метода независимой оценки траектории ОТ по интервалам прошлых и будущих кадров РС с последующим выбором лучшего результата, эффективно снижающего ошибки определения ОТ в начале и конце вокализованных звуков; определение дробного значения задержки ОТ для ее оптимального целочисленного значения.

Результаты оценки помехоустойчивости разработанного анализатора ОТ [6] и ее сравнение с помехоустойчивостью существующих² идентификаторов ОТ, согласно методики [12], представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнение помехоустойчивости различных алгоритмов определения периода основного тона речевого сигнала

Характеристики речи	GPE, %			
	G.729	G.723.1	FS 1017	Разработанный алгоритм
Произвольный текст (длительность 32 мин, 3 диктора, частота дискретизации 8 кГц) в отсутствии шума	10.2	10.8	4.5	4.3

² Наличие для существующих анализаторов ОТ стандартных реализаций в виде Си моделей для ПЭВМ обеспечивает повторяемость полученных результатов и однозначность их трактовки.

Произвольный текст (тоже), в смеси с белым шумом (ОСШ 0 дБ)	29.5	31.4	47.3	6.9
--	------	------	------	-----

Количественная мера помехоустойчивости анализаторов ОТ основана на расчете процента грубых ошибок в оценке задержки ОТ от общего числа выдаваемых оценок для заданных тестовых сигналов:

$$GPE = \frac{100}{F} \sum_{f=1}^F \begin{cases} 1, & \text{если } |NPE_f| \geq \varepsilon \\ 0, & \text{если } |NPE_f| < \varepsilon \end{cases} \% ; NPE_f = NP_f - 1 ; NP_f = \frac{T^{OT(f)}}{T_{ctr}^{(f)}}, \quad (2.13)$$

где F – количество измерений ОТ; NPE_f – нормированная ошибка оценки ОТ; ε – порог разделения грубых ошибок и малых отклонений в оценке ОТ; NP_f – нормированная оценка задержки ОТ; $T^{OT(f)}$ – оценка задержки ОТ на выходе анализатора ОТ; $T_{ctr}^{(f)}$ – контрольное значение задержки ОТ для f -й точки измерения, известное заранее.

Результаты применения разработанного алгоритма (рис. 2.2) и расчета джиттера периода ОТ, согласно выражения (2.1), представлены ниже (рис. 2.3).

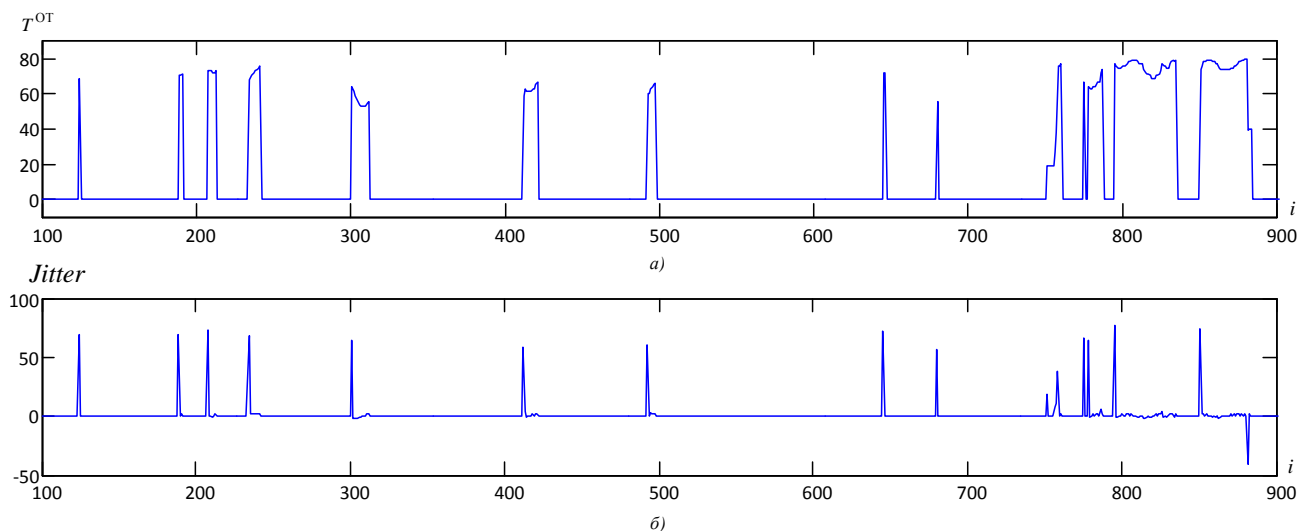


Рис. 2.6. Результаты определения периода ОТ речевого сигнала и его джиттера:

a – траектория основного тона; $б$ – оценки джиттера его периода

2.3.2 Джиттер характеристических последовательностей сигналов нажатия кнопок клавиатуры и манипулятора типа «мышь»

При оценке ПФС оператора по сигналам текстового канала взаимодействия с техническими средствами АРМ основными контролируруемыми параметрами ввода являются время $t_{\text{НАЖ}i}$, $i = 1, 2, \dots$ нажатия каждой клавиши, интервалы между нажатиями клавиш $T_{\text{НАЖ}i}$, $i = 1, 2, \dots$ и их код (рис. 2.7).

При нажатии оператором соседних клавиш параметр $T_{\text{НАЖ}i}$ становится отрицательным (перекрытие по времени), а контролируемые временные параметры существенно зависят от того, сколько пальцев используется при наборе, а также – от характерных для пользователя сочетаний движений рук и пальцев рук при наборе определенных символов на стандартной клавиатуре³. Исключения составляют нажатия кнопок манипулятора типа «мышь», для которых перекрытия по времени не происходит. Учитывая частое использование в работе оператора АРМ левой клавиши мыши (ЛКМ)⁴, для данного технического средства взаимодействия (рис. 2.1) выделим отдельно для анализа время нажатия левой клавиши мыши $t_{\text{НАЖ.ЛКМ}i}$ и интервалы между ее нажатиями $T_{\text{НАЖ.ЛКМ}i}$.

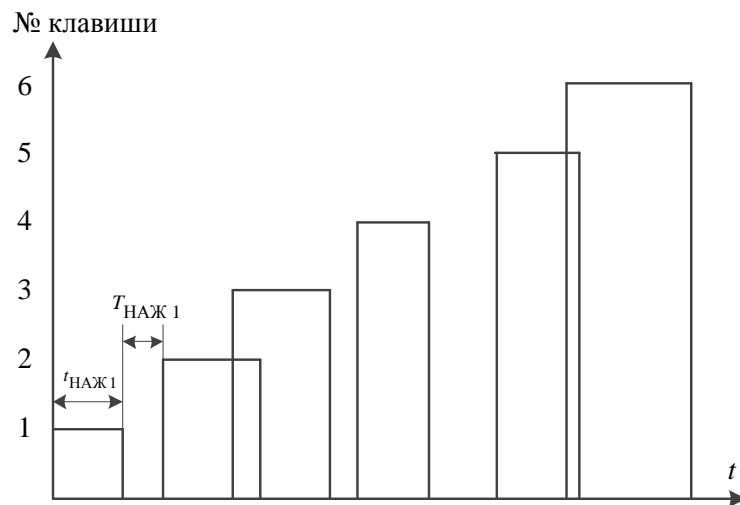


Рис. 2.7. Сигнал текстового канала ММВИ АРМ

³ В работе рассматриваются нажатия только цифровых и буквенных клавиш.

⁴ Или правой клавиши мыши для левши.

Для определения моментов нажатия кнопок клавиатуры и манипулятора типа «мышь» разработан соответствующий алгоритм (рис. 2.8) и реализующая его программа [58].

Исходными данными для работы алгоритма (символ 1) являются: Kl – файл записи параметров сигнала клавиатуры; Ms – файл записи параметров сигнала «мыши»; t_z – период считывания данных параметров.

Результатом работы алгоритма (символ 13) являются: i – код клавиши; K_i – состояние клавиши (1 – нажата, 0 – отжата); t_s – момент (машинное время) считывания состояния клавиши и ее кода.

Указанные данные сохраняются в файл Kl в виде массива:

$$A_k = \begin{bmatrix} i_1 & K_1 & t_{s1} \\ \dots & \dots & \dots \\ i_i & K_i & t_{si} \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}. \quad (2.14)$$

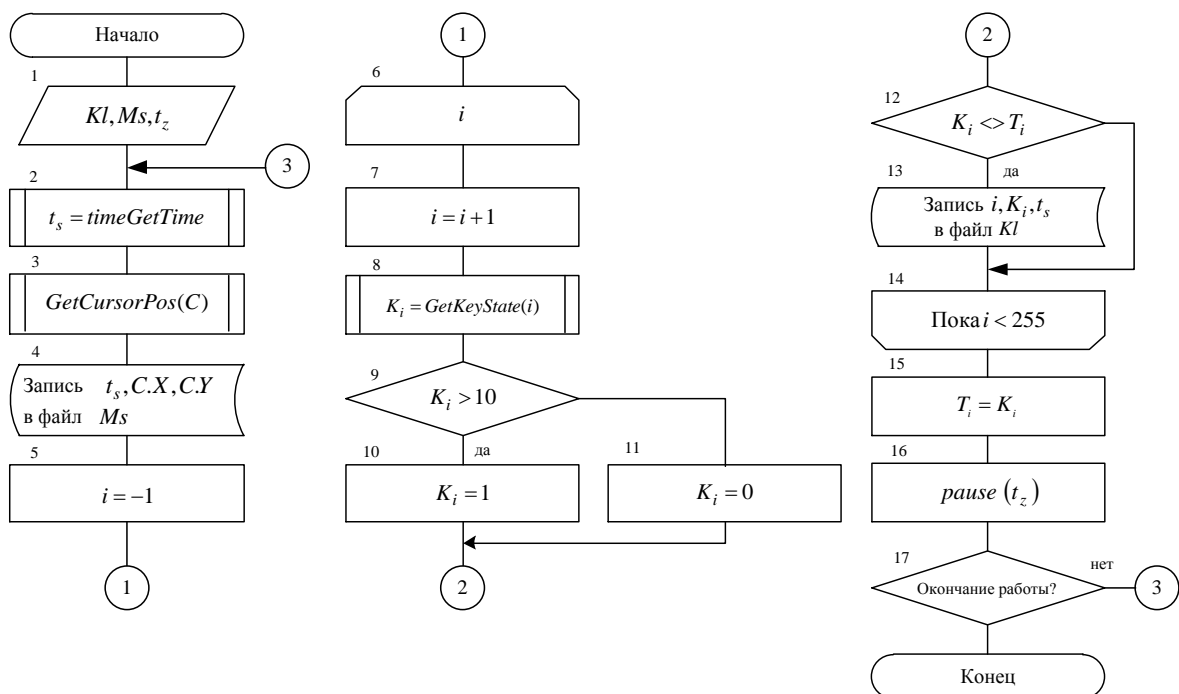


Рис. 2.8. Алгоритм определения параметров сигналов клавиатуры и манипулятора типа «мышь»

Для его преобразования в искомые величины $t_{\text{НАЖ}i} \in t_{-n}$, $T_{\text{НАЖ}i} \in T_{-n}$, $t_{\text{НАЖ.ЛКМ}i} \in t_{-n-1}$ и $T_{\text{НАЖ.ЛКМ}i} \in T_{-n-1}$ (для $i=1,2,\dots$) разработан следующий алгоритм (рис. 2.9).

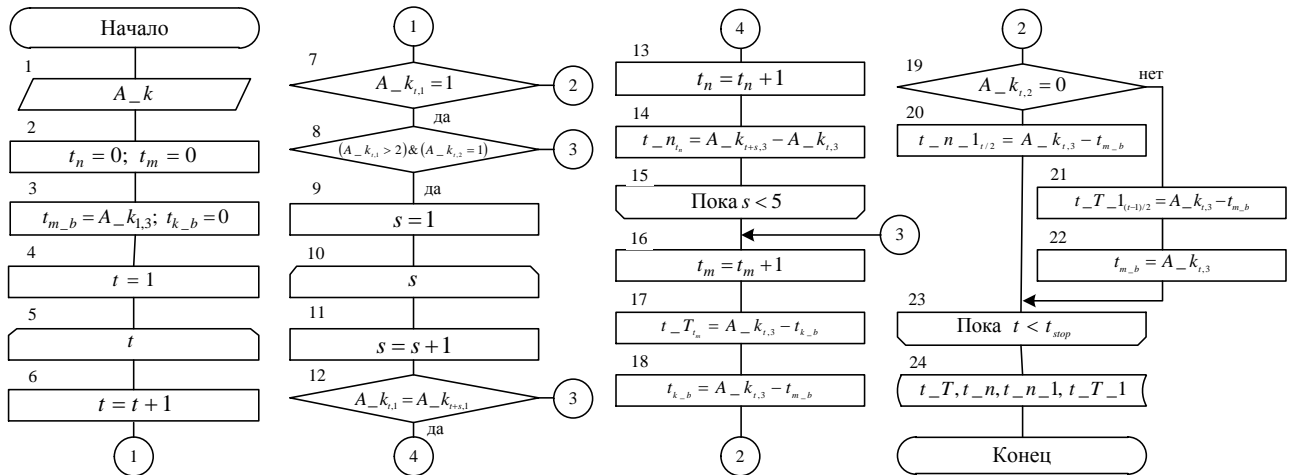


Рис. 2.9. Алгоритм определения длительности нажатия и интервала между нажатиями кнопок клавиатуры и манипулятора типа «мышь»

Полученные массивы значений характеристических последовательностей нажатия кнопок клавиатуры и ЛКМ используются для формирования их джиттера (рис. 2.10).

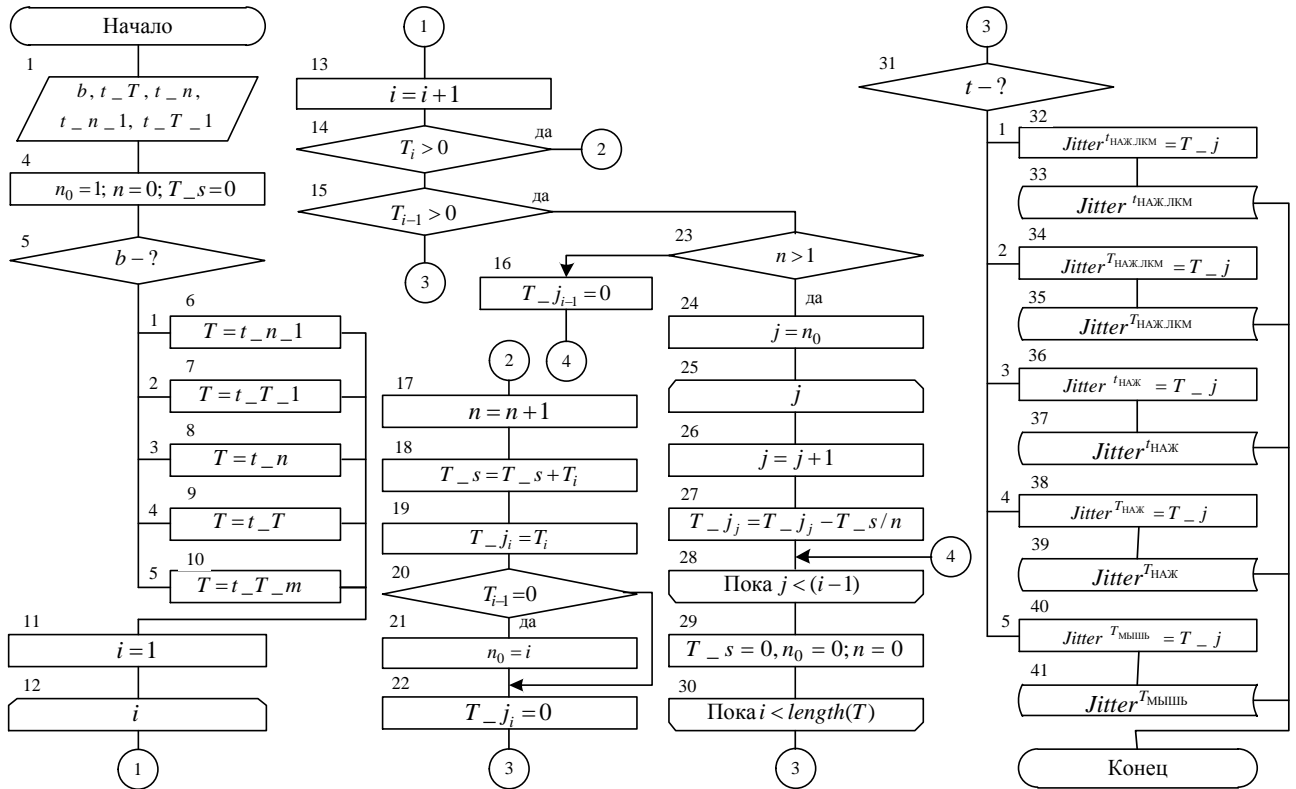


Рис. 2.10. Алгоритм формирования джиттера сигналов текстового канала взаимодействия технических средств и оператора АРМ

Особенностью разработанного алгоритма является возможность выбора имеющегося для анализа⁵ входного сигнала текстового канала взаимодействия технических средств и оператора АРМ.

Результаты расчета джиттера времени нажатия $Jitter^{t_{НАЖЛКМ}}$ и интервала между нажатиями $Jitter^{T_{НАЖЛКМ}}$ левой кнопки «мышь», времени нажатия $Jitter^{t_{НАЖ}}$ и интервала между нажатиями $Jitter^{T_{НАЖ}}$ кнопок на клавиатуре представлены на рисунке 2.11.

⁵ Определяется используемыми оператором модальностями

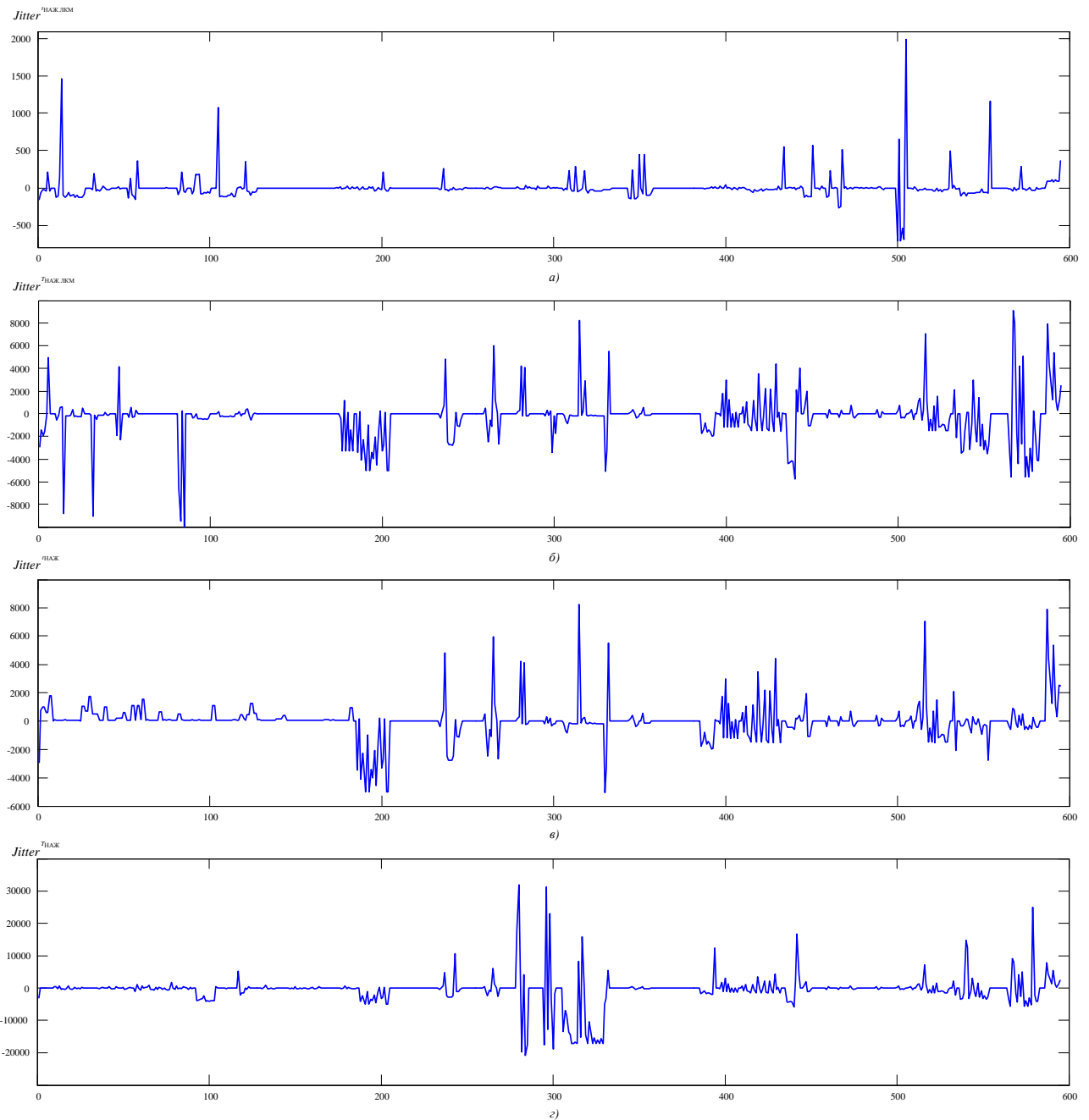


Рис. 2.11. Результаты определения джиттера:

а – времени нажатия ЛКМ; *б* – интервала между нажатиями ЛКМ;

в – времени нажатия кнопок на клавиатуре; *г* – интервала между нажатиями кнопок

2.3.3 Джиттер сигнала перемещения манипулятора типа «мышь»

По аналогии с рассмотренными сигналами ПФС джиттер сигнала перемещения «мыши» должен отражать непреднамеренные изменения скорости движения манипулятора (кисти руки оператора).

Для определения положения «мыши» (курсор «мыши») используется алгоритм (рис. 2.8) [58]. При этом выходные данные (символ 4): t_s – момент (машинное время) считывания положения «мыши»; $C.X$ и $C.Y$ – ее относительное положение по горизонтали и вертикали, записываются в файл Ms в виде массива:

$$A_m = \begin{bmatrix} t_{s1} & C.X_1 & C.Y_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ t_{si} & C.X_i & C.Y_i \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}. \quad (2.15)$$

Принцип формирования самого же джиттера основан на измерении длительности нарастания и спада выходного сигнала «мыши» посредством сравнения ее выходного напряжения $U_M = \sqrt{(C.X_t - C.X_{t-1})^2 + (C.Y_t - C.Y_{t-1})^2}$ в каждый момент времени t_s с двумя пороговыми⁶ уровнями U_1 и U_2 (рис. 2.12).

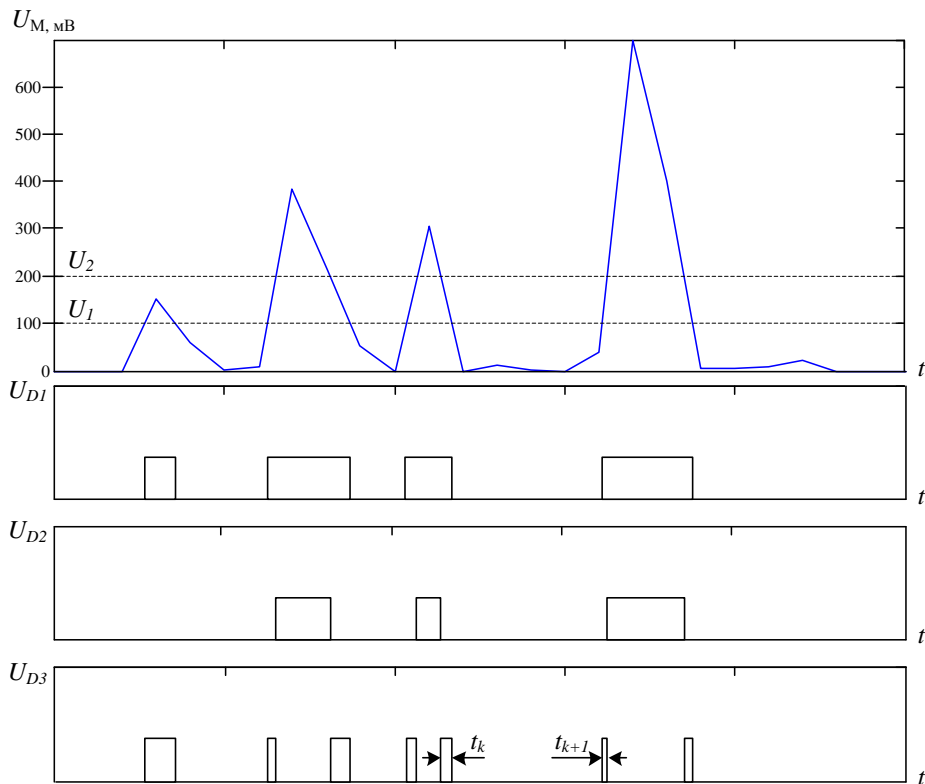


Рис. 2.12. Принцип формирования джиттера сигнала перемещения «мыши»

⁶ Пороговые значения определяются опытным путем

Длительность $t_k = (U_1 - U_2)/V_k$ выходных импульсов $U_{D3} = U_{D1} - U_{D2}$ обратно пропорциональна скорости изменения V_k фронта и среза выходного сигнала «мышь» и характеризует «периодичность» движения манипулятора (кисти руки оператора).

На основе изложенного принципа (рис. 2.12) массив (2.15) преобразуется (рис. 2.13) в значения «периода движения» мыши $T_{\text{мышь } i} \in t_T_m$ (для $i=1,2,\dots$).

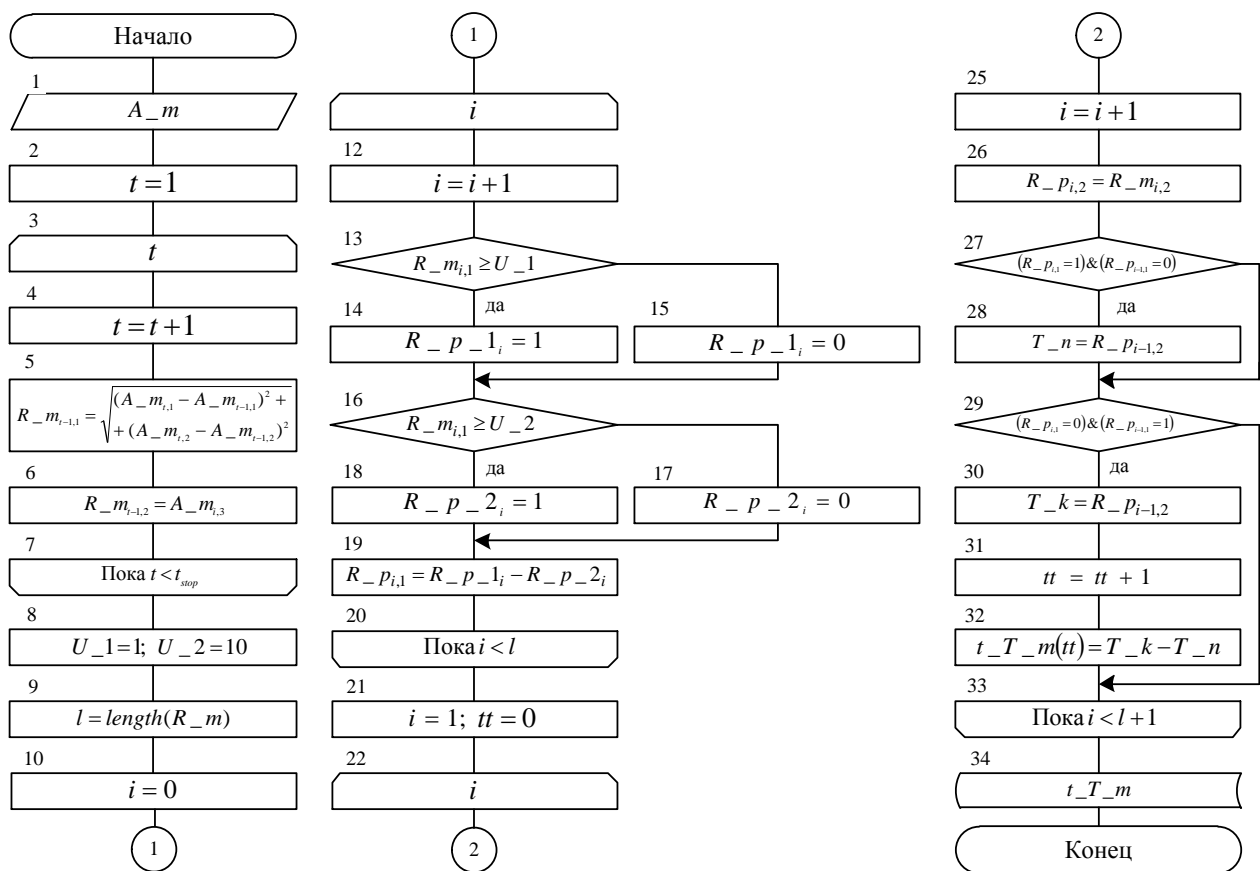


Рис. 2.13. Алгоритм формирования сигнала перемещения «мышь»

Полученные данные t_T_m используются (рис. 2.10) для формирования джиттера сигнала перемещения «мышь» $Jitter^{T_{\text{мышь}}}$ (рис. 2.14).

Основываясь на полученных данных, в качестве сигналов ПФС операторов АРМ ПДС следует считать:

– джиттер периода ОТ

$$Jitter^{T_{OT}} = [T_i^{OT} - T_{i-1}^{OT}], \quad (2.16)$$

где T_i^{OT} определяется согласно разработанного алгоритма определения периода ОТ речевого сигнала (рис. 2.2);

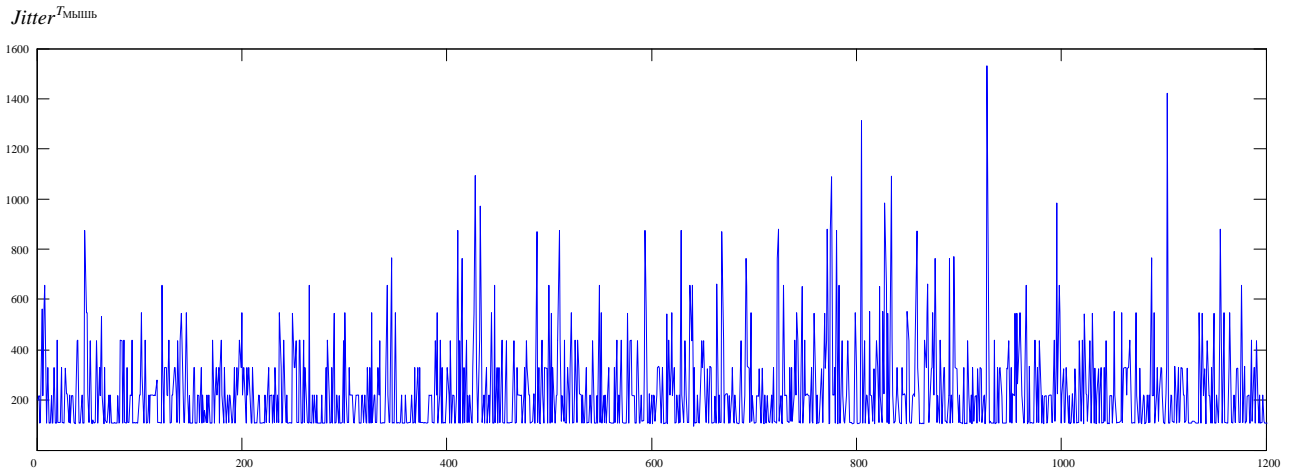


Рис. 2.14. Результаты определения джиттера сигнала перемещения «мыши»

– джиттер времени нажатия левой кнопки «мыши»

$$Jitter^{t_{НАЖЛКМ}} = [t_{НАЖЛКМ i} - t_{НАЖЛКМ(i-1)}]; \quad (2.17)$$

– джиттер интервала между нажатиями левой клавиши «мыши»

$$Jitter^{T_{НАЖЛКМ}} = [T_{НАЖЛКМ i} - T_{НАЖЛКМ(i-1)}]; \quad (2.18)$$

– джиттер времени нажатия кнопок на клавиатуре

$$Jitter^{t_{НАЖ}} = [t_{НАЖ i} - t_{НАЖ(i-1)}]; \quad (2.19)$$

– джиттер интервала между нажатиями кнопок на клавиатуре

$$Jitter^{T_{НАЖ}} = [T_{НАЖ i} - T_{НАЖ(i-1)}], \quad (2.20)$$

где $t_{НАЖЛКМ i}$, $T_{НАЖЛКМ i}$, $t_{НАЖ i}$ и $T_{НАЖ i}$ определяются согласно разработанных алгоритмов определения параметров сигналов клавиатуры и манипулятора типа «мышь» (рис. 2.8), формирования периодических последовательностей сигналов нажатия кнопок клавиатуры и манипулятора типа «мышь» (рис. 2.9) и

определения джиттера сигналов текстового канала взаимодействия технических средств и оператора АРМ (рис. 2.10);

– джиттер сигнала перемещения «мышь»

$$Jitter^{T_{\text{мышь}}} = [T_{\text{мышь } i} - T_{\text{мышь } (i-1)}], \quad (2.21)$$

где $T_{\text{мышь } i}$ определяется согласно разработанных алгоритмов определения параметров сигналов клавиатуры и манипулятора типа «мышь» (рис. 2.8), формирования сигнала перемещения «мышь» (рис. 2.13) и определения джиттера сигналов текстового канала взаимодействия технических средств и оператора АРМ (рис. 2.10).

Расчет значений джиттера для речевых сигналов 17 человек (длительность 104 минуты) и сигналов клавиатуры и «мышь», зарегистрированных от 26 испытуемых (длительность 183 минуты), находящихся в различных ПФС (состояние искусственно изменялось под влиянием физических и психологических нагрузок), позволил экспериментально получить их распределения. Оценивание степени близости теоретических распределений к эмпирическим по критерию А. Н. Колмогорова (Колмогорова-Смирнова) [31] позволило принять при критическом уровне значимости $\alpha = 0,01$ гипотезы о нормальности распределения величин (2.16)–(2.19).

Однако результаты статистического анализа этих же величин отдельно для каждого испытуемого указывают на их непараметрический характер и необходимость дальнейшего анализа. Инструментарий для определения интегральных характеристик $z(Jitter^{(l)})$ джиттера ($l = \overline{1,6}$), отражающих отклонение ПФС оператора от нормы, предложен в следующей главе.

2.5 Выводы по второй главе

1. Исходя из качественного состава технических средств АРМ ПДС при решении научной задачи диссертационного исследования следует рассматривать многомодальные интерфейсы, использующие традиционный ввод с помощью клавиатуры и «мыши», обеспечивающий непосредственное выполнение производственно-технологических функций, а также речевой сигнал как средство передачи информации при взаимодействии операторов друг с другом.

2. Существующие методы оценки психофизиологического состояния по текстовому и речевому каналам взаимодействия оператора с техническими средствами АРМ позволяют осуществлять дистанционные (бесконтактные) психометрические измерения, но ввиду их новизны являются недостаточно апробированными и требуют дальнейших исследований в направлении обоснования информативности применяемых критериев и точности получаемых оценок.

3. Точность и своевременность определения психофизиологического состояния оператора можно повысить путем использования информации от многомодального входного интерфейса АРМ. Единый подход к формализации и исследованию сигналов является характерной особенностью многомодальных интерфейсов, позволяющей на основе одинакового математического и программного обеспечения производить оценку ПФС человека по доступным для анализа модальностям.

4. Предложена математическая модель психофизиологического состояния оператора, объединяющая на основе обобщенной функции Харрингтона интегральные характеристики сигналов текстового и речевого каналов многомодального входного интерфейса АРМ. В качестве таких сигналов предложено использовать джиттер периода основного тона речевого сигнала, джиттер дли-

тельности нажатия и интервала между нажатиями кнопок на клавиатуре, джиттер длительности нажатия и интервала между нажатиями левой клавиши «мышь», а также джиттер сигнала ее перемещения.

5. Результаты статистического анализа джиттера сигналов многомодального входного интерфейса (отдельно для каждого оператора) указали на его непараметрический характер и необходимость их дальнейшего анализа.

ГЛАВА 3 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖИТТЕРА

Единство представления сигналов ПФС оператора в виде джиттера обеспечивает возможность разработки универсального научно-методического инструментария для его анализа. В связи с чем, далее исследуется общий джиттер (Total Jitter):

$$TJ = [Jitter^{Tot}, Jitter^{'наж}, Jitter^{Tнаж}, Jitter^{'нажлкм}, Jitter^{Tнажлкм}, Jitter^{Tмышь}]. \quad (3.1)$$

3.1. Методы анализа компонент джиттера

Общий джиттер TJ сигналов можно разделить на две основные категории (рис. 3.1): случайный (Random Jitter – RJ) и детерминированный джиттер (Deterministic Jitter – DJ) [33, 89, 95, 102].

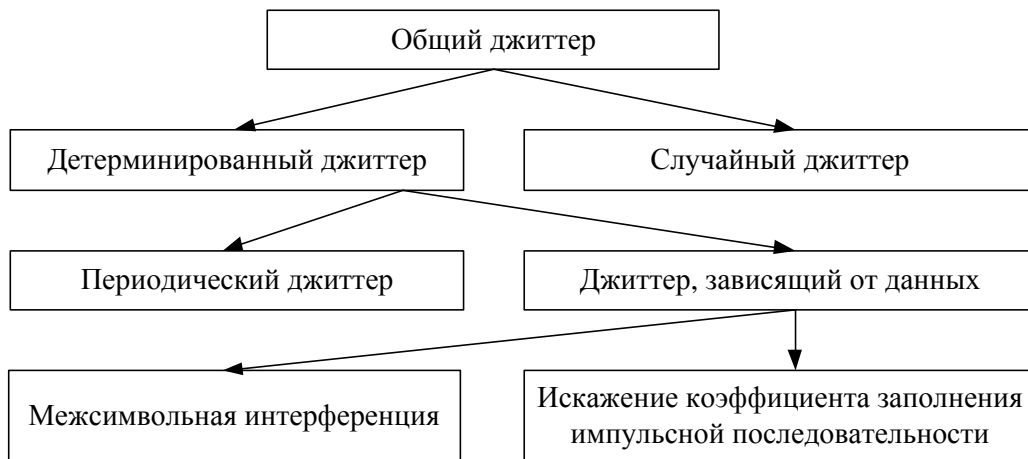


Рис. 3.1. Компоненты общего джиттера

Подкомпонентами детерминированного джиттера являются:

1) джиттер, зависящий от данных (Data-Dependent Jitter – *DDJ*), определяется анализируемой последовательностью импульсов и в свою очередь подразделяется на межсимвольную интерференцию (Inter-Symbol Interference – *ISI*) и искажение коэффициента заполнения импульсной последовательности (Duty-Cycle Distortion – *DCD*);

2) периодический джиттер (Periodic Jitter – *PJ*) описывает периодические изменения положений фронтов импульсов анализируемого сигнала во времени. Главными причинами периодического джиттера *PJ* являются паразитная модуляция гармониками питающего напряжения, высокочастотные помехи, а также процессы, лежащие в основе образования анализируемого сигнала.

При решении задачи определения ПФС оператора АРМ по изменениям характеристик джиттера сигналов ММВИ АРМ возникает необходимость разложить *TJ* на составляющие его компоненты и определить их интегральные характеристики.

В настоящее время существуют следующие методы анализа данных джиттера (фазового дрожания) [95]:

- 1) прямой анализ функции распределения вероятностей (интегральной функции распределения) значений фазовых отклонений сигнала;
- 2) последовательный временной анализ с передискретизацией или субдискретизацией на особых фронтах сигнала;
- 3) статистический анализ на временном интервале между n фронтами сигнала;
- 4) анализ спектральной плотности мощности (СПМ) на совокупности значений джиттера.

Однако они не позволяют выделить все значимые компоненты джиттера, в связи с чем, была предложена методика разделения джиттера сигналов ММВИ АРМ и оценки характеристик его компонент (рис. 3.2) [40].

Согласно нее, вначале формируется общий джиттер сигналов доступных (текстового или речевого) каналов взаимодействия. Алгоритмы определения периода ОТ речевого сигнала (шаг 4) и формирования его TJ^{Tot} (шаг 5) представлены в п. 2.3.1. Алгоритмы формирования джиттера характеристических последовательностей сигналов нажатия клавиш (шаги 7, 8, 10, 11) – в п. 2.3.2., а джиттера сигнала перемещения «мыши» (шаг 12) – в п. 2.3.3.

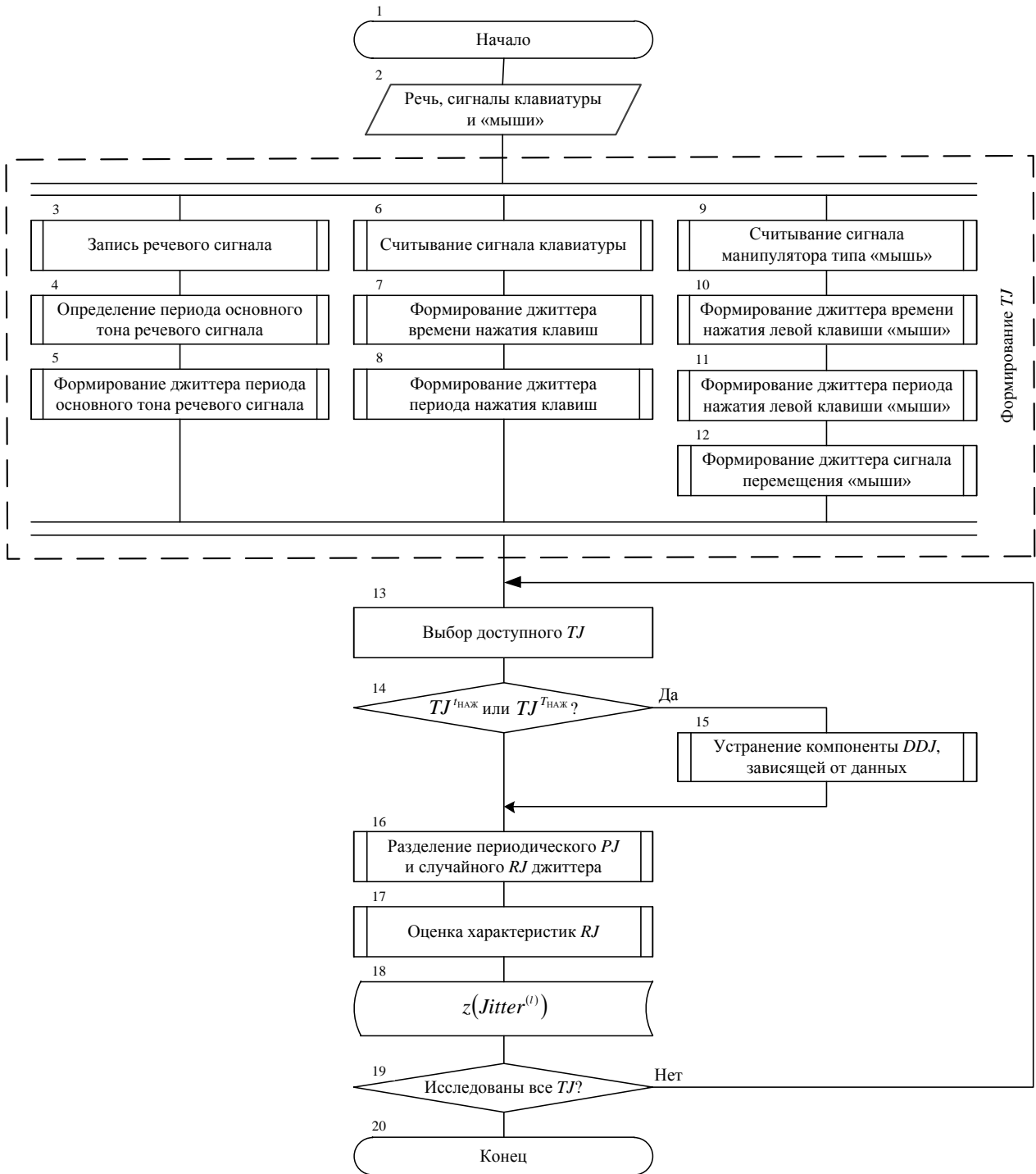


Рис. 3.2. Методика определения интегральных характеристик джиттера

Далее из джиттера $TJ^{t_{\text{наж}}}$ длительности нажатия и $TJ^{T_{\text{наж}}}$ интервала между нажатиями кнопок на клавиатуре необходимо устранить компоненты DDJ , зависящие от данных – межсимвольную интерференцию ISI и искажение коэффициента DCD . Для разделения периодического PJ и случайного RJ джиттера

необходимо сначала заполнить неизвестные значения общего джиттера, после чего их характеристики можно использовать для оценки ПФС оператора. Подробно рассмотрим данные этапы разработанной методики.

3.2. Существующие способы выделения джиттера, зависящего от данных

Джиттер DDJ является составной частью общего джиттера TJ и подразделяется на межсимвольную интерференцию ISI и искажение коэффициента заполнения импульсной последовательности DCD .

Межсимвольная интерференция ISI с точки зрения джиттера определяется как отклонение момента пересечения порога принятия решения (считывания кода нажатой клавиши) для каждого импульса (нажатия) от «идеального» момента из-за остаточных влияний предшествующих нажатий. Нажатие клавиши может «размываться» на соседние интервалы, что приводит к смещению напряжения в момент передачи фронта, а, следовательно, и к изменению времени пересечения сигналом порога принятия решения. Как видно из примера (клавиши № 2 и 3 на рисунке 2.7), межсимвольная интерференция приводит к отклонению момента пересечения сигналом нажатой клавиши порога принятия решения от «идеального» положения, что является джиттером.

Сигнал случайной последовательности данных, поступающий на вход линейной стационарной системы, может быть представлен в виде:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n p(t - nT),$$

где $p(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 < t \leq T \\ 0, & \text{если } t \leq 0, t > T \end{cases}$ – импульсный сигнал с длительностью T ;

$a_n \in \{0, 1\}$ – случайная бинарная величина, которая принимает значение нуля или единицы с определенной вероятностью.

Сигнал на выходе линейной стационарной системы будет описываться выражением:

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^0 a_n g(t - nT),$$

где $g(t) = h(t) \otimes p(t)$ – сигнал, описывающий импульс на выходе линейной стационарной системы; $h(t)$ – импульсная характеристика системы.

Время пересечения порога принятия решения t_c определяется как момент, когда напряжение принимаемого сигнала достигнет напряжения порога $v_{\text{пор}}$:

$$v_{\text{пор}} = y(t_c) = \sum_{n=-\infty}^0 a_n g(t_c - nT).$$

Для случайной последовательности данных джиттер за счет межсимвольной интерференции *ISI* будет определяться как случайное отклонение времени пересечения порога принятия решения t_c . В этом случае *ISI* будет описываться плотностью распределения вероятностей:

$$f_{ISI}(t) = \frac{1}{2^{k-1}} \sum_{i=1}^{2^{k-1}} \delta(t - (t_0 - t_i)),$$

где k – количество смежных нажатий, оказывающих влияние; t_i – время пересечения порога принятия решения для определенной последовательности нажатий длины k ; t_0 – время пересечения порога принятия решения в отсутствие межсимвольной интерференции [85].

Джиттер *DCD*, вызванный искажением коэффициента заполнения импульсной последовательности, определяется как отклонение коэффициента заполнения от своего номинального значения. Для последовательности нажатия клавиш коэффициент заполнения определяется как отношение ширины импульса к его периоду (рис. 2.7):

$$k_3 = \frac{t_{\text{НАЖ}}}{T_{\text{НАЖ}}}.$$

Плотность распределения вероятностей для джиттера, вызванного искажением коэффициента заполнения импульсной последовательности, описывается выражением [84]:

$$f_{DCD}(t) = \frac{1}{2}(\delta(t - \Delta t_{DCD}) + \delta(t + \Delta t_{DCD}))$$

В [85] показано, что джиттер, вызванный искажением коэффициента заполнения импульсной последовательности, и джиттер, обусловленный межсимвольной интерференцией, являются некоррелированными и могут быть разделены статистическими методами [91–94, 96, 97, 117–119, 122].

В предлагаемой методике (рис. 3.2) для устранения *DDJ* из последовательности *TJ* предлагается использовать существующий способ [96].

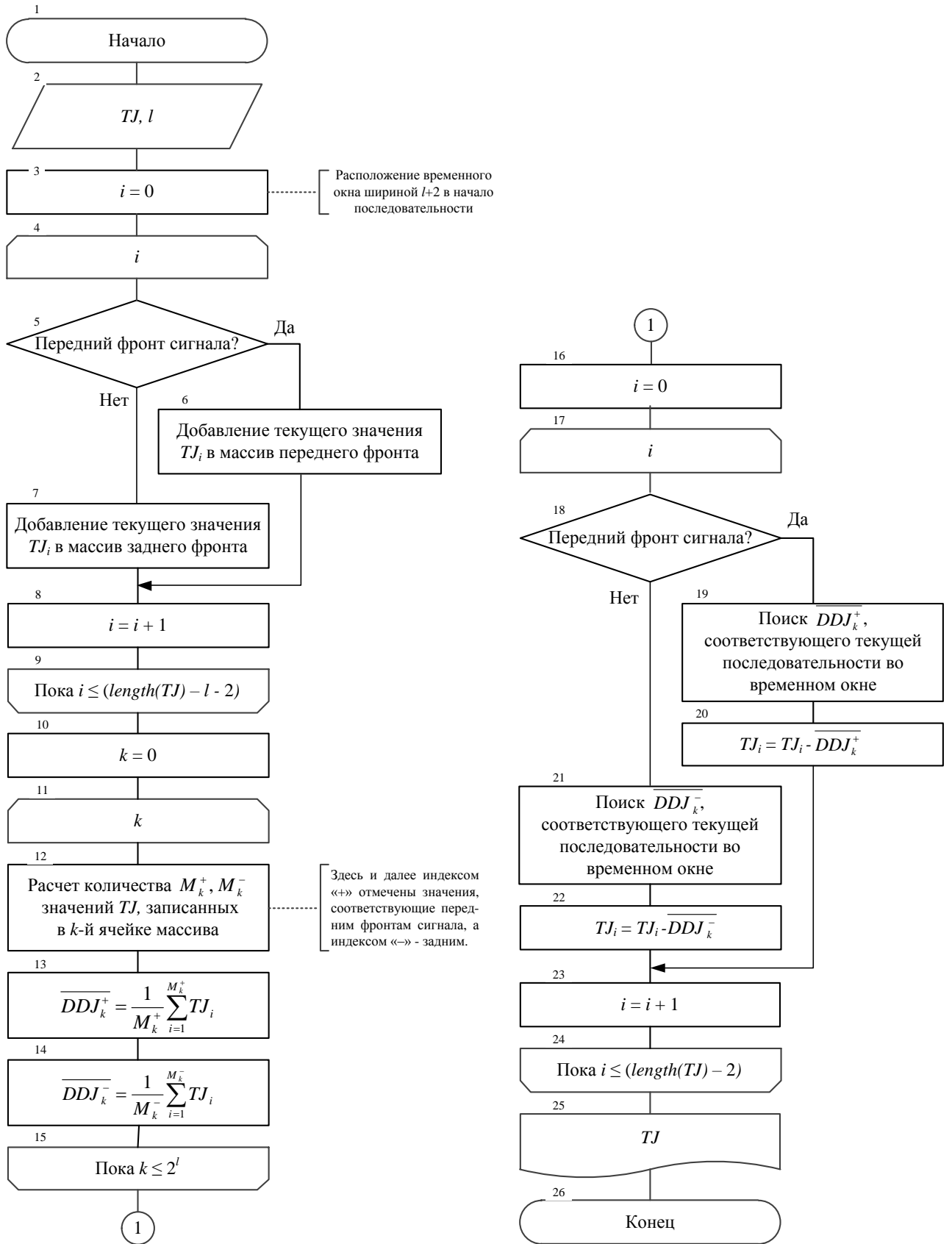
Данный способ основан на предположении, что каждый символ внутри маленького временного окна, расположенного вокруг анализируемого фронта сигнала, оказывает на него определенное влияние. Считая, что *DDJ* (*DCD+ISI*) вызывается влиянием только *l* соседних символов, ограничим число различных последовательностей, которые необходимо рассматривать, числом 2^l . Тогда размер временного окна будет равен $l + 2$, где два дополнительных символа определяют анализируемый фронт сигнала.

Учитывая, что импульсные характеристики системы для переднего и заднего фронтов сигнала могут отличаться друг от друга, необходимо рассматривать джиттер на переднем (переход от нуля к единице) и заднем (переход от единицы к нулю) фронтах отдельно.

Отделение *DDJ* от *TJ* выполняется в два этапа (рис. 3.3).

На первом этапе выполняется оценка значений (*ISI+DCD*) для каждой из 2^l последовательностей отдельно для передних и задних фронтов. Эта оценка вычисляется путем определения статистики при «продвижении» временного окна через всю последовательность *TJ*. На втором этапе на основе полученных статистик производится компенсация *DDJ* в последовательности *TJ*.

Применение способа устранения *DDJ* из последовательности *TJ* (рис. 3.3), позволяет выполнить необходимый для сигналов текстовой канала взаимодействия (ввод с клавиатуры) этап предложенной методики (рис. 3.2).

Рис. 3.3. Способ устранения DDJ ($DCD+ISI$) из TJ

3.3. Алгоритм разделения периодического и случайного джиттера

Для отделения периодического PJ джиттера от случайного RJ широко используются спектральные методы [92, 96, 118, 122], основанные на дискретном преобразовании Фурье (ДПФ).

Однако анализируемый сигнал может содержать неизвестные значения общего джиттера TJ , например, в случае отсутствия периода ОТ речевого на невокализованных кадрах речи. Их наличие не позволяет напрямую использовать спектральный метод отделения PJ от RJ , так как для последовательности с неизвестными значениями нельзя выполнить ДПФ.

В [92, 96, 118, 122] для заполнения неизвестных значений предлагается использовать линейную, полиномиальную или сплайновую интерполяцию по ближайшим известным значениям (рис. 3.4).

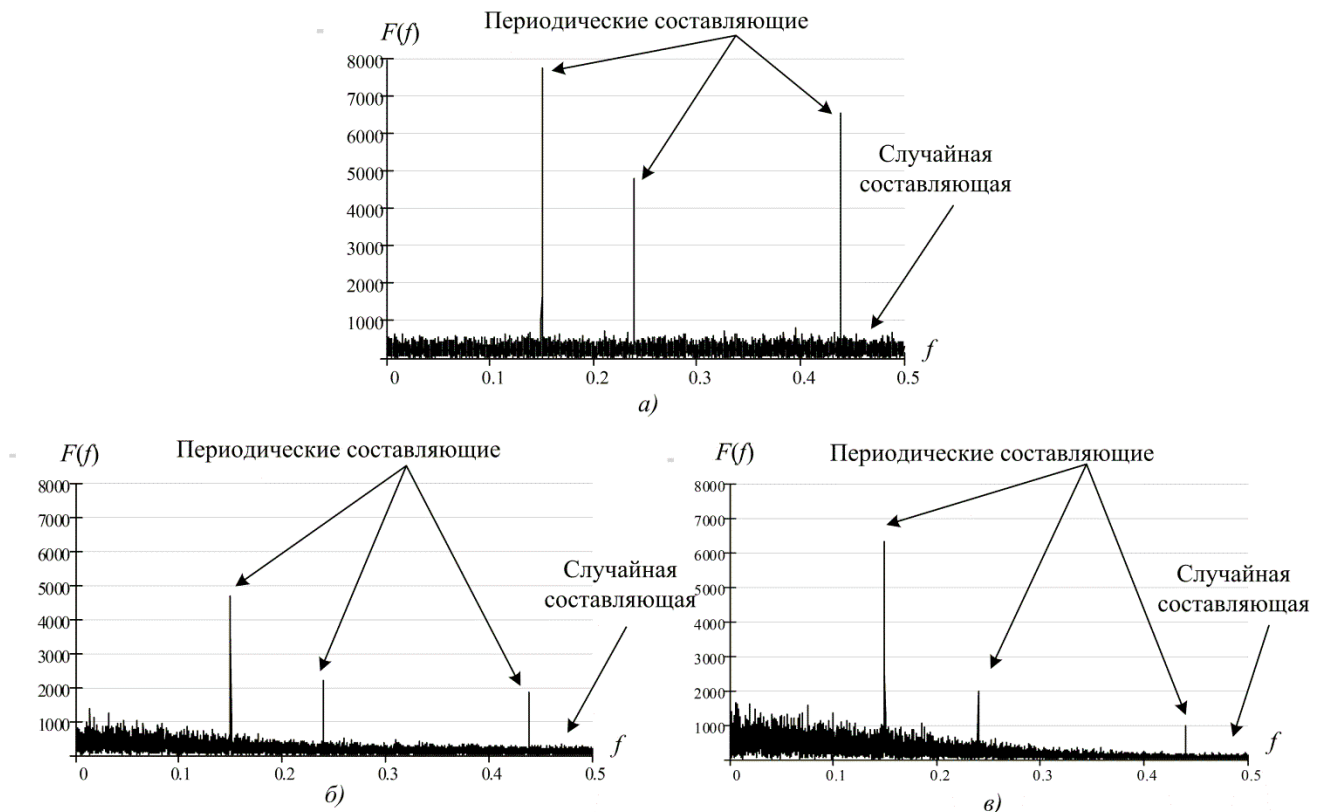


Рис. 3.4. Амплитудный спектр:

a – известной последовательности значений джиттера; $б$ – линейно интерполированной последовательности; $в$ – последовательности, интерполированной кубическими сплайнами

Использование интерполяции неизвестных значений по ближайшим известным искажает спектр сигнала общего джиттера в сторону нижних частот с подавлением амплитуд высокочастотных составляющих. Такое искажение спектра ведет к ухудшению точности оценки периодического PJ и случайного RJ джиттера при использовании спектрального метода разделения.

Из известной последовательности (рис. 3.4, а) значений джиттера (случайная составляющая – случайный гауссовский процесс с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением $\sigma = 2$; периодическая составляющая – три гармонических сигнала с относительными частотами $f_1 = 0,15$, $f_2 = 0,24$, $f_3 = 0,44$, амплитудами $A_1 = 1,38$, $A_2 = 0,563$, $A_3 = 0,876$ и случайными фазами φ_1 , φ_2 и φ_3 ; объем выборки $N = 2^{14}$) удалены (с вероятностью 0,5) некоторые значения, которые затем линейно интерполированы по ближайшим известным значениям (рис. 3.4, б).

Из сравнения спектров (рис. 3.4, а и 3.4, б) видно, что применение интерполяции неизвестных значений по ближайшим известным искажает спектр последовательности значений джиттера в сторону нижних частот с подавлением амплитуд высокочастотных составляющих. Такой же эффект наблюдается при использовании полиномиальной интерполяции и интерполяции сплайнами (рис. 3.4, в). Такое искажение спектра ведет к ухудшению точности оценивания периодического PJ и случайного RJ джиттера при использовании спектрального метода разделения.

Для устранения недостатков существующих способов предлагается алгоритм разделения периодического и случайного джиттера (рис. 3.5), состоящий из следующих этапов [20, 33, 69].

I. Выполняется переход из временной в частотную область анализа. При этом последовательность значений джиттера, в которой неизвестные значения заменены на нули (шаг 3), взвешивается на окно данных $PJ(i)$, например, окно Блэкмана (шаг 4):

$$w(i) = 0,42 - 0,50 \cos\left(\frac{2\pi \cdot i}{N}\right) + 0,08 \cos\left(\frac{4\pi \cdot i}{N}\right), i = 0..N-1$$

для устранения эффекта растекания спектра при выполнении операции БПФ (шаг 5).

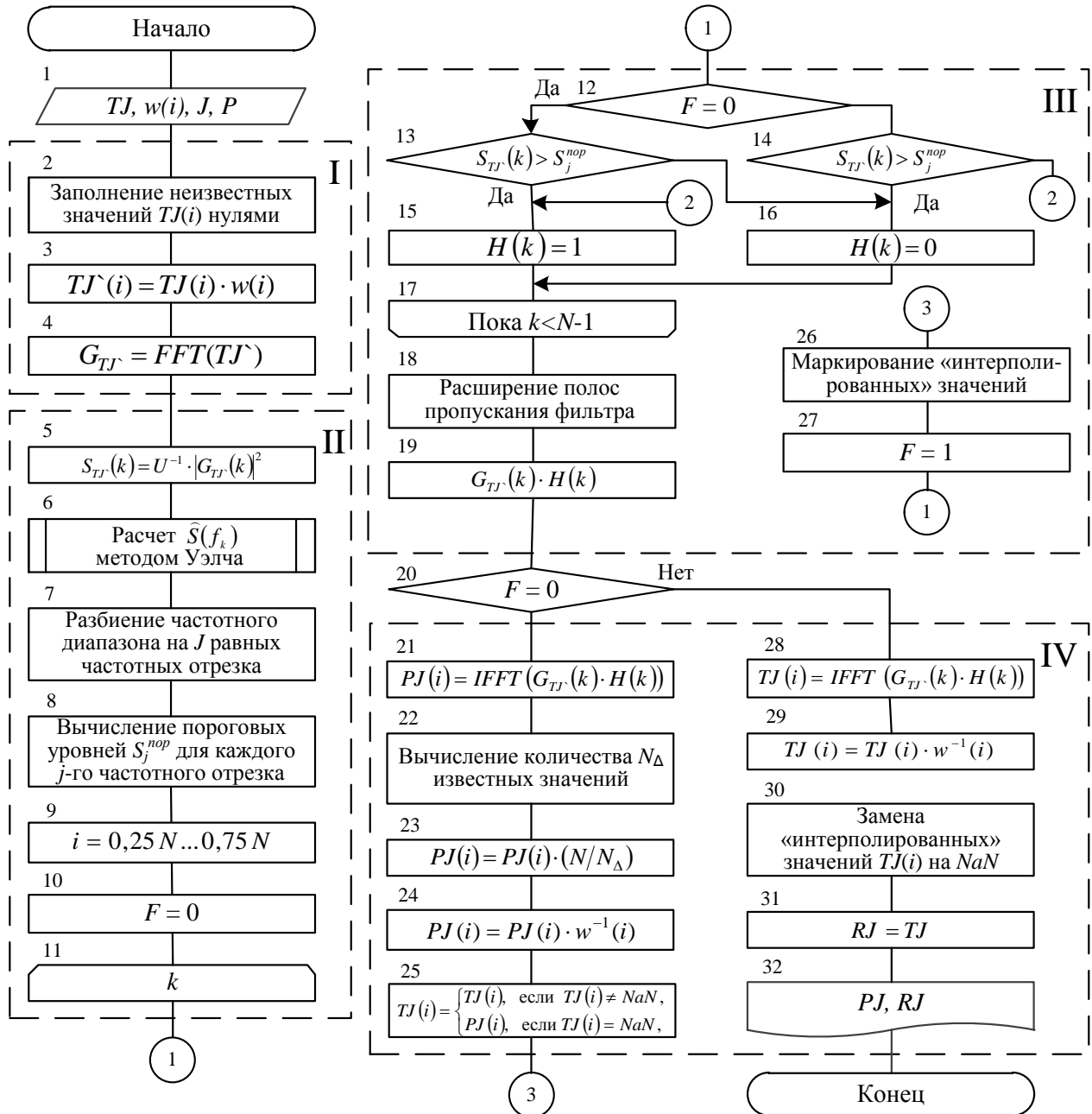


Рис. 3.5. Алгоритм разделения периодического и случайного джиттера

II. Определяются пиковые значения амплитудного спектра последовательности значений джиттера, соответствующие периодическому джиттеру PJ .

Периодический джиттер PJ представляет собой узкополосную помеху на одной или нескольких частотах. Для его отделения от случайного джиттера используются методы, основанные на фильтрации в частотной области. Для определения частотной характеристики (ЧХ) соответствующего фильтра необходимо определить частоты, на которых сосредоточен периодический джиттер.

Для поиска пиковых значений спектра, соответствующих частотам PJ , выполняются следующие шаги.

Шаг 5. Вычисляется спектральная плотность мощности (СПМ) входной последовательности, сглаженной оконной функцией $w(n)$:

$$S_0(f_k) = \frac{1}{U} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n)w(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \right|^2,$$

где $U = \sum_{n=0}^{N-1} w^2(n)$ – энергия используемого окна.

Шаг 6. Вычисляется сглаженная оценка СПМ входной последовательности $\hat{S}(f_k)$ по методу Уэлча:

$$\hat{S}(f_k) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P I_p(f_k) = \frac{1}{PU} \sum_{p=1}^P |\dot{X}_p(k)|^2. \quad (3.1)$$

Оценка СПМ, полученная по выражению (3.1), является смещенной и состоятельной. Чем больше сегментов P , тем меньше дисперсия, но больше смещение оценок. Количество сегментов выбирается с учетом требуемой гладкости оценки СПМ и требуемой разрешающей способности по частоте. При этом имеется компромисс между смещением или спектральной разрешающей способностью и дисперсией оценки при постоянной длине выборки входной последовательности.

Шаг 7. Весь частотный диапазон разбивается на J одинаковых отрезка. Их количество выбирается таким образом, чтобы более точно описать спектральную плотность мощности случайной составляющей общего джиттера.

Шаг 8. Вычисляются пороговые уровни $S_j^{\text{пор}}$ с заданной доверительной вероятностью α для каждого j -го отрезка как верхние границы доверительного интервала СПМ, полученные по реализации входной последовательности длиной N :

$$S_j^{\text{пор}} = 2\widehat{S}_j / \chi_{\alpha/2}^2(2),$$

где $\chi_{1-\alpha/2}^2(2)$ – χ^2 -распределение при заданной доверительной вероятности α и числе степеней свободы $\mu = 2$.

Если СПМ $S_0(f_k)$ входной последовательности на данной частоте, превышает пороговый уровень $S_j^{\text{пор}}$ в соответствующем частотном диапазоне, то считается, что на данной частоте сосредоточена узкополосная помеха, соответствующая периодической составляющей PJ общего джиттера. Так значения СПМ $S_0(f)$ на относительных частотах $f_1 = 0,016$ и $f_2 = 0,418$ (рис. 3.6), превышающие пороговые значения $S_j^{\text{пор}}$ при $J = 16$, соответствуют периодическому джиттеру.

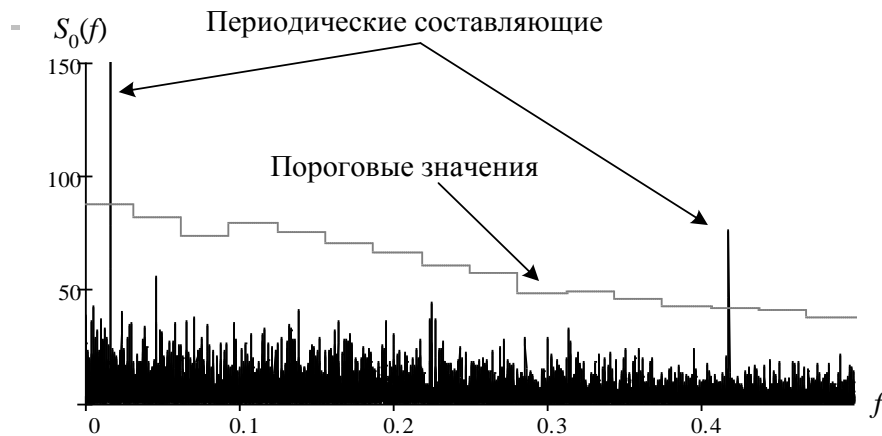


Рис. 3.6. Определение частот периодического джиттера

III ($F=0$). Формируется частотная характеристика (ЧХ) фильтра и используется фильтрация с помощью БПФ для выделения периодической составляющей.

щей общего джиттера. После определения частот, на которых сосредоточены узкополосные помехи, соответствующие PJ , необходимо отфильтровать их от случайного джиттера. Так как заранее количество и частоты узкополосных помех неизвестны, то необходимо использовать фильтрацию на основе БПФ [76]. Особенностью данной фильтрации является наличие «неверных» отсчетов на концах полученной после фильтрации последовательности.

ЧХ фильтра формируется следующим образом (шаги 13, 15). Если СПМ $S_0(f_k)$ входной последовательности на данной частоте, превышает пороговый уровень $S_j^{\text{пор}}$ в соответствующем частотном диапазоне, то частотная характеристика на данной частоте приравнивается к единице $H(k)=1$, в противном случае – к нулю $H(k)=0$. Таким образом, фильтром пропускаются те частоты, на которых присутствуют периодические составляющие, а остальные частоты пропускаются. Далее вычисляются размеры полос задерживания частотной характеристики. Если ширина полосы задерживания меньше $B=8$, то она расширяется до данного значения (шаг 18).

Сформированная таким образом частотная характеристика позволит использовать фильтрацию с помощью БПФ (шаг 19) при исключении «хвостов» по $N/4$ отсчета с каждой стороны отфильтрованной последовательности (шаг 9).

IV ($F=0$). Выполняется обратное БПФ от спектра, в котором остались только пиковые значения (шаг 21). Полученная последовательность, содержащая только периодические составляющие, усиливается (шаги 22-23) и взвешивается на обратную оконную функцию (шаг 24), чем устраняется эффект взвешивания.

В исходной последовательности TJ неизвестные значения заменяются на соответствующие значения из полученной последовательности, описывающей PJ , и помечаются как «интерполированные» (шаги 25-26). После заполнения неизвестных значений в последовательности значений джиттера выполняется

удаление периодической составляющей PJ из смеси $PJ+RJ$ спектральным методом за счет фильтрации в частотной области.

III ($F=1$). Формируется ЧХ фильтра, который задерживает периодические компоненты джиттера и пропускает случайный джиттер (шаги 14-16). На шаге 19 выполняется фильтрация в частотной области путем перемножения спектра взвешенной входной последовательности и сформированной частотной характеристики фильтра.

IV ($F=1$). Выполняется обратное БПФ (шаг 28) от спектра, содержащего только случайный джиттер. Получившаяся последовательность умножается на соответствующую обратную оконную функцию (шаг 29). Значения последовательности ошибок значений джиттера, которые на шаге 26 были помечены как «интерполируемые», заменяются обратно (шаг 30) на неизвестные значения (NaN).

Полученные последовательности (шаг 32) значений случайного RJ и периодического PJ джиттера могут использоваться для дальнейшего анализа.

3.4. Исследование характеристик периодического и случайного джиттера сигналов многомодального входного интерфейса автоматизированного рабочего места

Зависимости полученных частот периодических составляющих PJ общего джиттера от времени (рис. 3.7) имеют сложный характер, обусловленный следующими факторами:

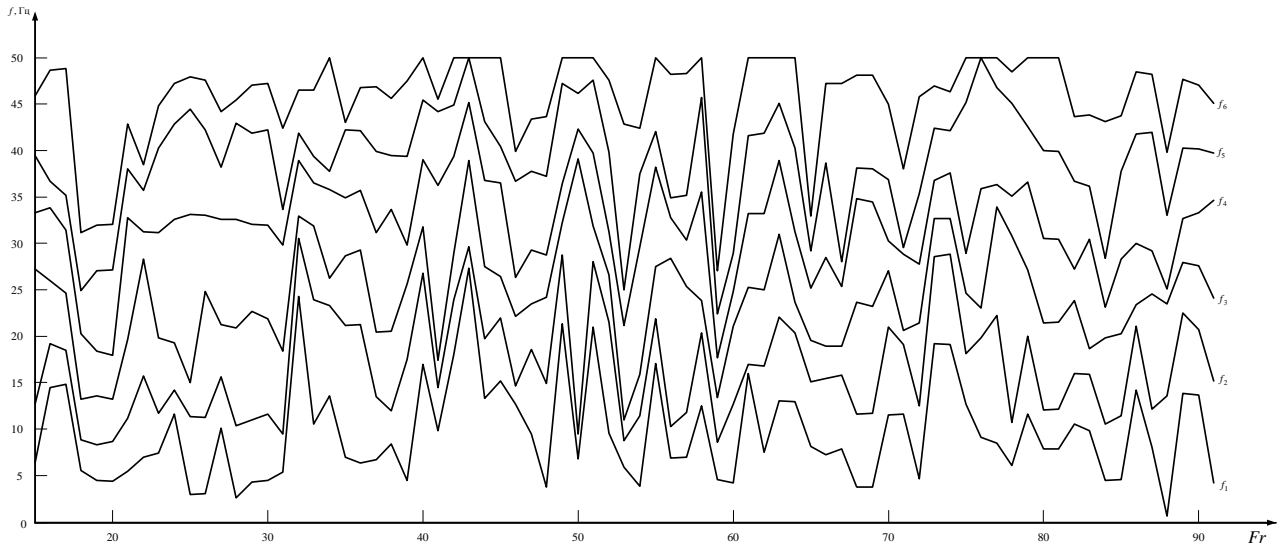


Рис. 3.7. Изменения частоты первых 6 максимумов спектра джиттера периода основного речевого сигнала

- влиянием интонационного рисунка произносимых фраз и характером колебаний голосовых связок – для $PJ^{T_{\text{от}}}$;
- паразитной модуляцией сигнала клавиатуры («мышь») гармониками питающего напряжения – для $PJ^{t_{\text{наж}}}$, $PJ^{T_{\text{наж}}}$, $PJ^{t_{\text{наж.лкм}}}$, $PJ^{T_{\text{наж.лкм}}}$;
- возвратными движениями манипулятора типа «мышь» при достижении границ рабочей области (экрана) – для $PJ^{T_{\text{мышь}}}$.

Описание влияния указанных факторов (установление закономерностей) на ПФС оператора требует дальнейших исследований, поэтому для его определения (отклонения ПФС от нормального состояния) в дальнейшем целесообразно использовать только случайные компоненты джиттера сигналов ММВИ.

В результате экспериментальных исследований (записи речевого сигнала 17 человек) установлено (рис. 3.8), что случайный джиттер⁷ $RJ^{T_{\text{от}}}$ периода ОТ при критическом уровне значимости $\alpha = 0,01$ (по критерию А. Н. Колмогорова) имеет нормальное распределение. Аналогично проверены и подтверждены

⁷ Обозначения соответствуют принятым для общего джиттера

гипотезы о нормальности распределения случайного джиттера $RJ^{t_{\text{НАЖ}}}$, $RJ^{T_{\text{НАЖ}}}$, $RJ^{t_{\text{НАЖЛКМ}}}$, $RJ^{T_{\text{НАЖЛКМ}}}$, $RJ^{T_{\text{МЫШЬ}}}$.

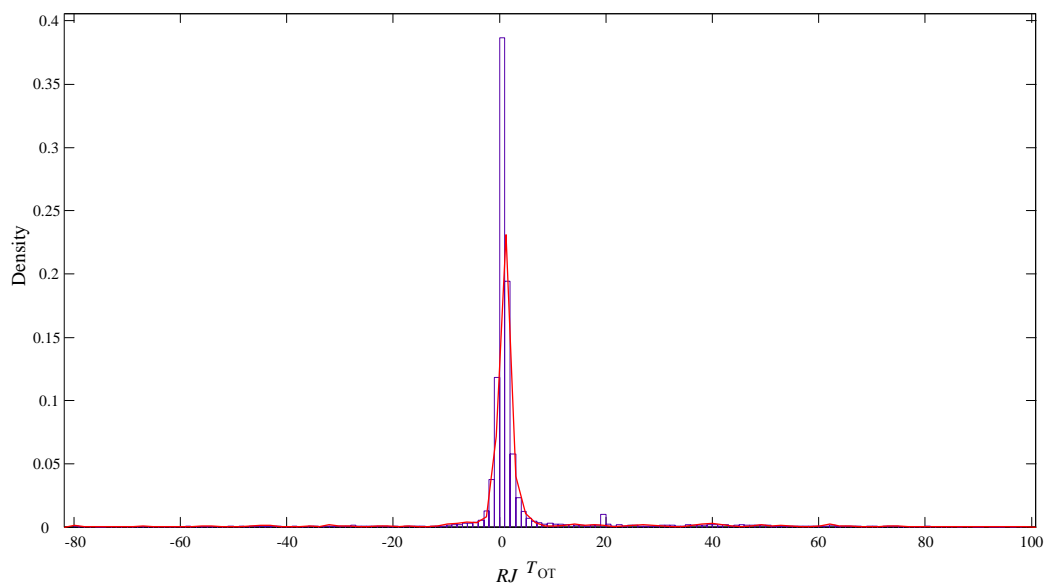


Рис. 3.8. Функции плотности распределения джиттера $RJ^{T_{\text{OT}}}$

Исходя из этого, для случайного джиттера RJ , определенного на R фрагментах (кадрах) таких сигналов, в качестве характеристик, зависящих от ПФС оператора, могут быть рассмотрены (рис. 3.9) [120, 121]:

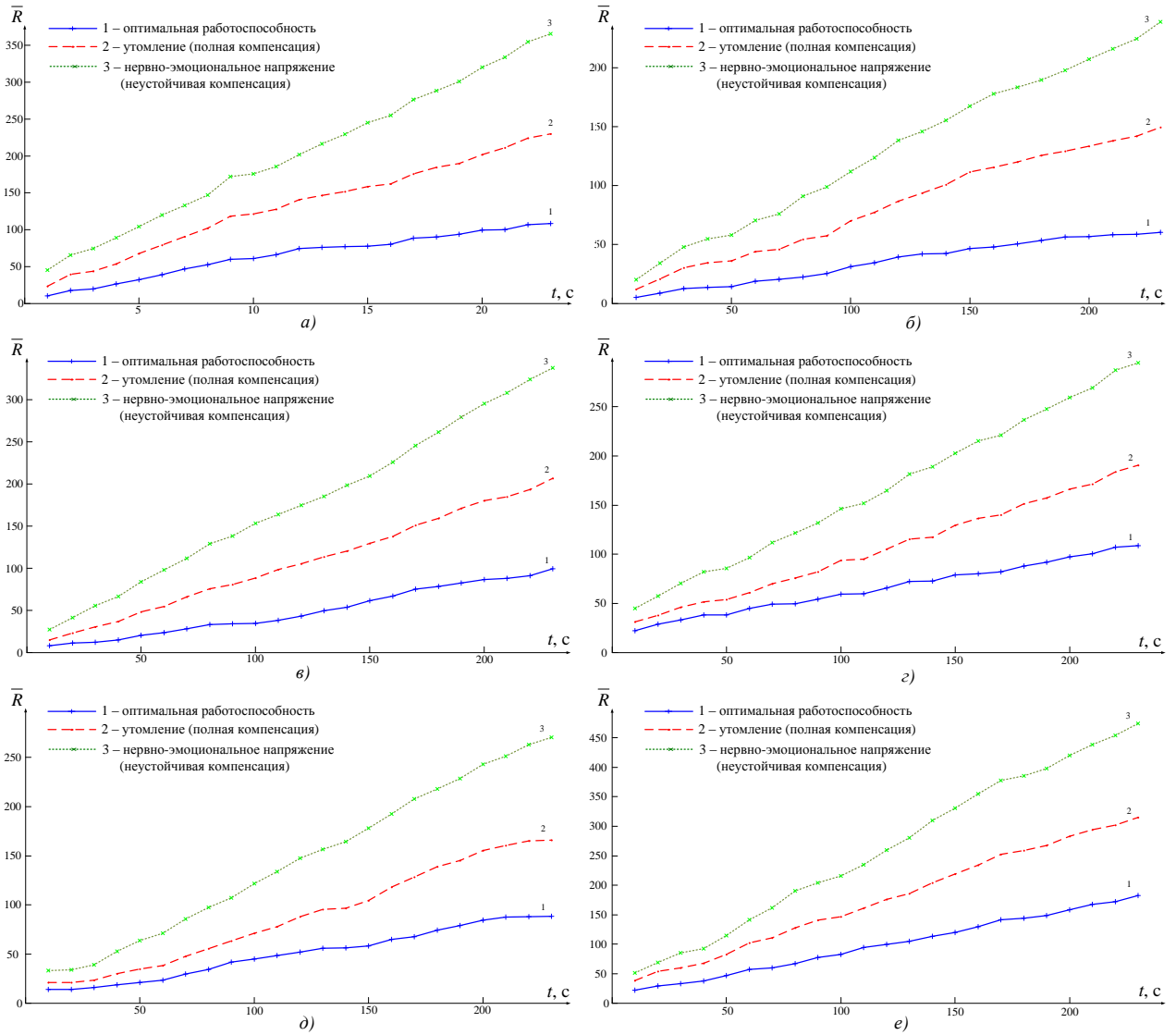


Рис. 3.9. Временная характеристика \bar{R} для:

$$a - RJ^{T_{от}}; \quad б - RJ^{t_{наж}}; \quad в - RJ^{T_{наж}}; \quad г - RJ^{t_{нажлкм}}; \quad д - RJ^{T_{нажлкм}}; \quad е - RJ^{T_{мышь}}$$

– доля (в процентах) кадров анализируемого сигнала, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает пороговое значение $Thr^{(l)}$:

$$Over^{(l)} = 100 \frac{|\{\bar{R} : |RJ^{(l)}| > Thr_{RJ}^{(l)}\}|}{R} [\%]; \quad (3.2)$$

– максимальное число непрерывно следующих друг за другом кадров, на которых превышено пороговое значение $Thr^{(l)}$:

$$MaxOver^{(l)} = \max\left(\left\{\bar{R} : |RJ^{(l)}| > Thr^{(l)}\right\}\right); \quad (3.3)$$

– максимальное число непрерывно следующих кадров, на которых пороговое значение $Thr^{(l)}$ не превышено:

$$MaxUnder^{(l)} = \max\left(\left\{\bar{R} : |RJ^{(l)}| > Thr^{(l)}\right\}\right). \quad (3.4)$$

Учитывая фиксированную длину фрагментов⁸, на которых определялись исследуемые значения джиттера (2.16)–(2.21), значения характеристик (3.2)–(3.4) не требуют пересчета во временную шкалу. Результаты получены на описанной выше (см. п. 2.4.4) экспериментальной базе сигналов речевых и текстовых модальностей. Представленные кривые характеризуют среднее за временной интервал (отложенный по оси абсцисс) число кадров анализируемых сигналов, для которых значение $RJ^{(l)}$ превышает значение $Thr^{(l)}$ ⁹, для операторов в период оптимальной работоспособности (кривые 1) и находящихся в состоянии утомления (кривые 2), нервно-эмоционального напряжения (кривые 3).

Их анализ свидетельствует о монотонном возрастании числа кадров, для которых $RJ^{(l)} > Thr^{(l)}$ для всех рассматриваемых сигналов. При этом для всех рассматриваемых разновидностей джиттера наименьшей крутизной обладает кривая, характеризующая период оптимальной работоспособности (кривая 1). Рост производной (кривая 2) наблюдается с переходом оператора в состояние утомления (полная компенсация) и в большей степени (кривая 3) – в состояние нервно-эмоционального напряжения (неустойчивая компенсация). Скорость изменения производной \bar{R} различна для разных $RJ^{(l)}$.

Указанные тенденции характерны и для зависимостей $MaxOver^{(l)}$, полученных методом скользящего среднего, от длительности временного интервала при тех же исходных данных и ПФС оператора (рис. 3.10).

⁸ Период считывания данных для определения джиттера сигналов текстовых модальностей задается в алгоритме (рис. 2.5) параметром t_z , а для джиттера периода ОТ – в алгоритме (рис. 2.2) параметром N

⁹ Пороговое значение Thr_{RJ} определяется отдельно для сигналов различных модальностей

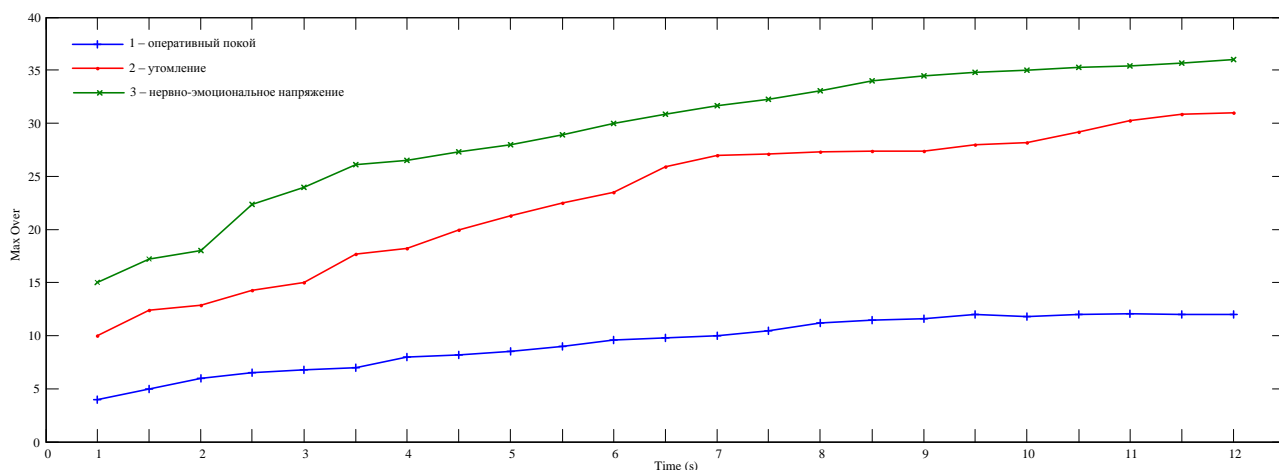


Рис. 3.10. Зависимости скользящего среднего $MaxOver^{RJ^{TOT}}$ от длительности временного окна анализа

Отличием зависимости $MaxUnder^{(t)}$ от времени (рис. 3.11) является уменьшение значений и крутизны кривых с отклонением ПФС оператора от нормального состояния.

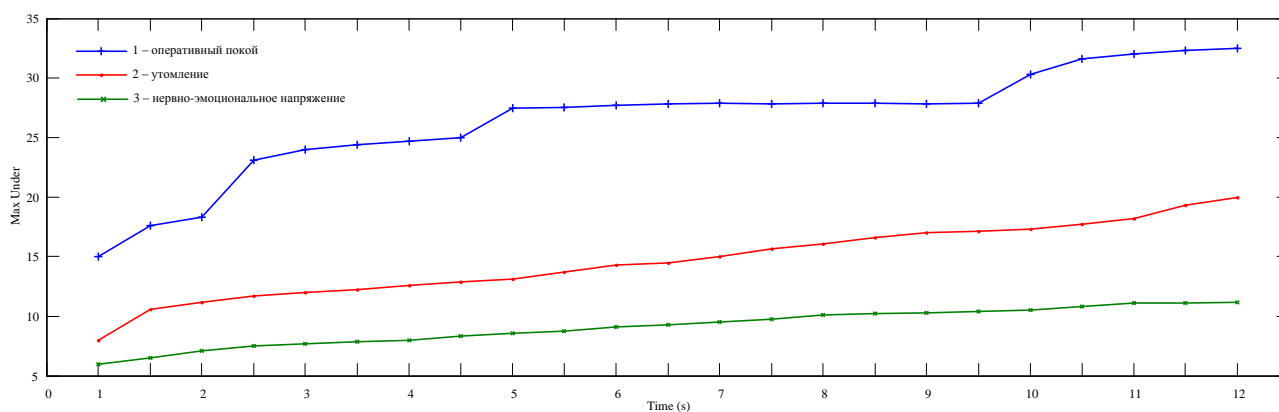


Рис. 3.11. Зависимости скользящего среднего $MaxUnder^{RJ^{TOT}}$ от длительности временного окна анализа

Анализ полученных зависимостей (рис. 3.9–3.11), а также результатов расчета $MaxOver^{(t)}$ и $MaxUnder^{(t)}$ для $RJ^{t_{НАЖ}}$, $RJ^{T_{НАЖ}}$, $RJ^{t_{НАЖЛКМ}}$, $RJ^{T_{НАЖЛКМ}}$ и $RJ^{T_{МЫШЬ}}$ свидетельствует о большей чувствительности к изменению ПФС оце-

ниваемого оператора характеристики $Over^{(l)}$. Получены результаты ее оценки методом скользящего среднего (длительность окна анализа 10 с) на примере $Over^{RJ^{ТМЫШЬ}}$ при оптимальной работоспособности оператора (рис. 3.12, а) и оператора, находящегося в состоянии нервно-эмоционального напряжения (рис. 3.12, б).

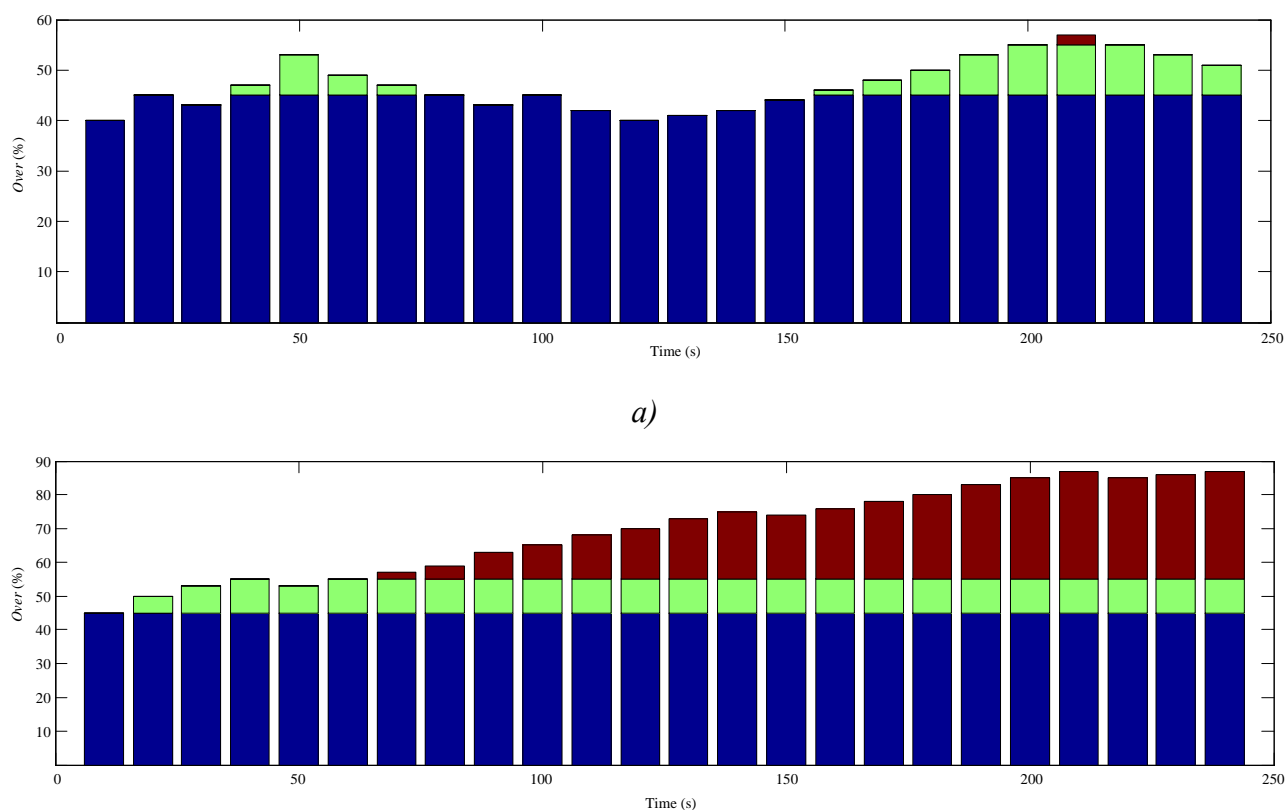


Рис. 3.12. Оценка $Over_{RJ^{ТМЫШЬ}}$ методом скользящего среднего

при оптимальной работоспособности оператора (а)

и при его нахождении в состоянии нервно-эмоционального напряжения (б)

Полученные результаты показывают, что в качестве интегральной характеристики $z(Jitter^{(l)})$ джиттера сигналов ММВИ АРМ, отражающей ПФС оператора, следует использовать характеристику $Over^{(l)}$ (3.2):

$$z(Jitter^{(l)}) = 100 \left(\frac{\overline{\{R : |RJ^{(l)}| > Thr^{(l)}\}}}{R} \right) [\%], \quad (3.5)$$

где \bar{R} – число кадров анализируемого сигнала, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает пороговое значение $Thr^{(l)}$ (получен экспериментально для каждого $RJ^{(l)}$); R – число кадров, на которых определен $RJ^{(l)}$.

Представленные результаты ее оценки (рис. 3.12) свидетельствуют об адекватности модели ПФС оператора (выражения (2.1)–(2.4), (3.5)) и позволяют представить научно-методический инструментарий оценки ПФС оператора АРМ ПДС в следующем виде (рис. 3.13).

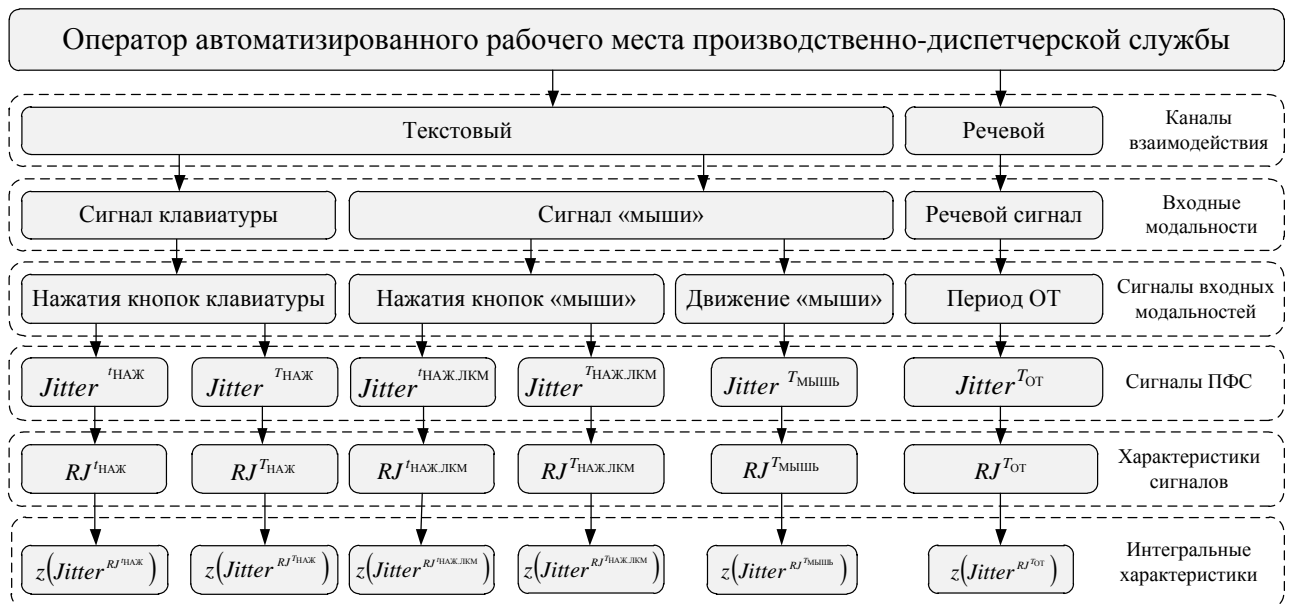


Рис. 3.13. Иерархическое описание научно-методического инструментария оценки психофизиологического состояния оператора АРМ ПДС

Для формирования оценок ПФС f_i оператора согласно разработанной модели (выражения (2.1)–(2.4), (3.5)) необходимо знание верхних ($z_{\text{max}}^{(l)}$) и нижних ($z_{\text{min}}^{(l)}$) границ интервала «Полная компенсация» (рис. 2.2) для случайного джиттера $RJ^{T_{\text{ОТ}}}$, $RJ^{t_{\text{НАЖ}}}$, $RJ^{T_{\text{НАЖ}}}$, $RJ^{t_{\text{НАЖ.ЛКМ}}}$, $RJ^{T_{\text{НАЖ.ЛКМ}}}$, $RJ^{T_{\text{МЫШЬ}}}$. Указанные границы могут быть рассчитаны для каждого из исполнителей в соответствии с

рекомендациями, данными в [35]: нижняя граница интервала «Полная компенсация» равна значению средней арифметической величины $z(Jitter^{(l)})$, а верхняя – суммарному значению средней арифметической величины $z(Jitter^{(l)})$ и ее среднеквадратического отклонения.

Пороговые $Thr^{(l)}$ и граничные ($z_{\max}^{(l)}$ и $z_{\min}^{(l)}$) значения образуют матрицу

$$[G] = \begin{bmatrix} Thr_{RJ^{TOT}} & Over_{RJ^{TOT}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{TOT}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{НАЖ}} & Over_{RJ^{НАЖ}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{НАЖ}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{ТНАЖ}} & Over_{RJ^{ТНАЖ}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{ТНАЖ}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{НАЖЛКМ}} & Over_{RJ^{НАЖЛКМ}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{НАЖЛКМ}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{ТНАЖЛКМ}} & Over_{RJ^{ТНАЖЛКМ}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{ТНАЖЛКМ}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{ТМЫШЬ}} & Over_{RJ^{ТМЫШЬ}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{ТМЫШЬ}}^{НИЖН} \end{bmatrix}, \quad (4.1)$$

названную профилем ПФС оператора. Профиль ПФС всех операторов будет определяться матрицей $[G]_{6 \times 3M}$, образованной конкатенацией матриц (4.1) для M операторов.

3.5 Выводы по третьей главе

1. Существующие методы анализа джиттера не позволяют выделить его значимые компоненты, в связи с чем, была предложена методика определения интегральных характеристик джиттера, отражающих психофизиологическое состояние оператора АРМ.

2. Предложенная методика реализует формирование сигналов текстового (от клавиатуры и «мыши») и речевого каналов коммуникации многомодального входного интерфейса АРМ на основе разработанного комплекса алгоритмов, устранение компонент джиттера, зависящих от данных, разделение периодического и случайного джиттера и оценку интегральной характеристики случайного джиттера на основе метода скользящего среднего.

3. Разработан алгоритм разделения периодического и случайного джиттера, основанный на спектральном методе разделения и оригинальном способе заполнения неизвестных значений джиттера.

4. На основе произведенных экспериментов получены результаты, свидетельствующие о сложной зависимости периодического джиттера от времени и необходимости использования случайных компонент сигналов многомодального входного интерфейса для оценки изменения психофизиологического состояния оператора АРМ.

5. В качестве интегральной характеристики джиттера обоснован выбор доли кадров анализируемых сигналов, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает некоторое пороговое значение. Ее анализ свидетельствует о монотонном возрастании таких долей для всех рассматриваемых разновидностей джиттера и росте производной соответствующих кривых при отклонении психофизиологического состояния оператора от нормы.

ГЛАВА 4 НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО
РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛОЖЕННОГО ПОДХОДА В
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБАХ
ГАЗОДОБЫВАЮЩИХ
И ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1. Методика распределения производственно-технологических функций
между операторами автоматизированных рабочих мест

Представленные выше результаты свидетельствуют о возможности и целесообразности использования предложенных решений распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ ПДС ГДП и ГТП (рис. 4.1).

Исходными данными для реализации соответствующей методики являются:

- 1) число N функций рассматриваемого производственного подразделения;
- 2) число M операторов производственного подразделения;
- 3) число K компетенций оператора, необходимых для выполнения ПТФ;
- 4) матрица $[P]_{M \times K}$ квалификационных профилей операторов;
- 5) матрица $[R]_{N \times K}$ производственно-технологических функций;
- 6) матрицу $[G]_{6 \times 3M}$ профиля ПФС M операторов;
- 7) показатели w_j значимости j -й функции ($j = \overline{1..N}$);
- 8) трудоемкость Q_j (человеко-часы) выполнения j -й функции ($j = \overline{1..N}$);
- 9) трудовой ресурс q_i (человеко-часы) i -го исполнителя ($i = \overline{1..M}$).

Процесс управления начинается после того, как все M операторов, имеющих допуск к работе, вошли в систему (шаг 2). При этом они подтвердили свои полномочия (прошли процедуру аутентификации), применив имеющиеся

аутентификаторы. После этого исполнители приобретают статус авторизованных пользователей АРМ.

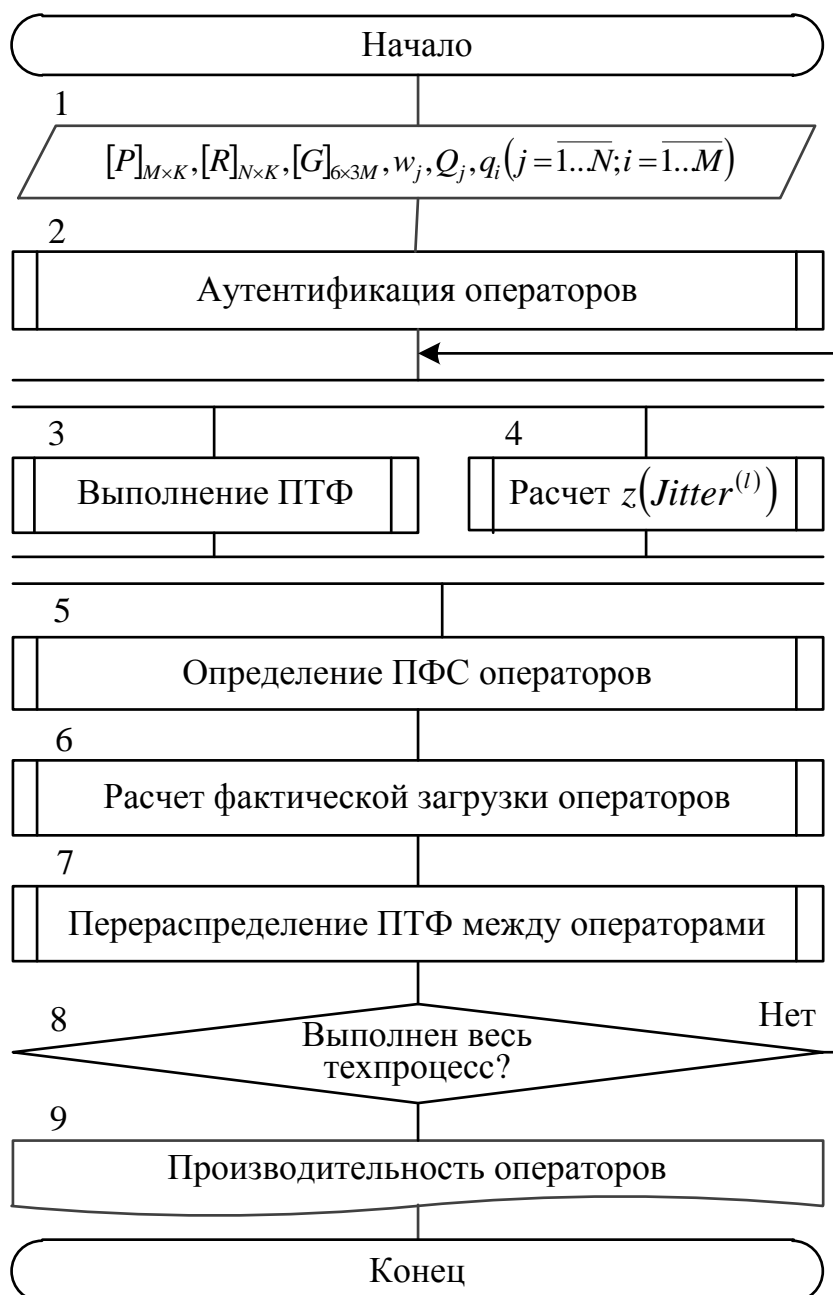


Рис. 4.1. Методика распределения производственно-технологических функций между операторами автоматизированных рабочих мест

Оценки f_i ПФС операторов (2.4) вычисляются для каждого из них путем объединения информации (шаг 5) от ММВИ АРМ. Последняя образуется путем

расчета интегральных характеристик $z(Jitter^{(i)})$ случайного джиттера $RJ^{T_{от}}$, $RJ^{t_{наж}}$, $RJ^{T_{наж}}$, $RJ^{t_{нажлкм}}$, $RJ^{T_{нажлкм}}$, $RJ^{T_{мышь}}$ (шаг 4) при выполнении ПТФ (шаг 3).

Учитывая, что данные сигналы фиксируются в различные моменты времени (с различной скоростью), возникает необходимость в их синхронизации. При синхронизации на уровне признаков (стратегия раннего объединения) происходит объединение признаков, полученных в течение некоторого периода времени от различных каналов взаимодействия (рис. 4.2).

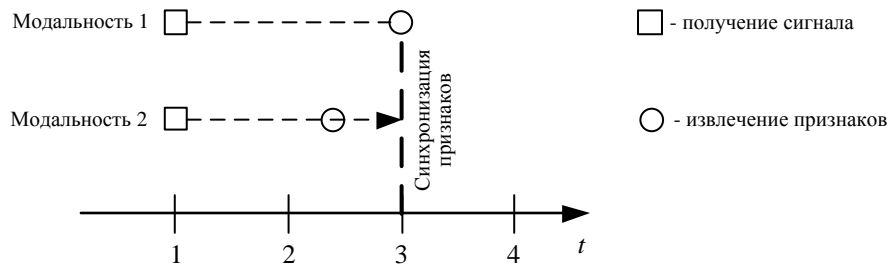


Рис. 4.2. Синхронизация двух модальностей при раннем объединении

Определение минимального времени синхронизации модальностей для различных приложений остается актуальной задачей исследований в области построения многомодальных интерфейсов, что подтверждается немногочисленными результатами по данной проблематике [35–100].

С учетом характеристик объединяемой информации и специфики производственно-технологического процесса ГДП и ГТП синхронизацию решений по отдельным каналам взаимодействия с последующим определением ПФС оператора целесообразно проводить с периодичностью, обеспечивающей возможность распределения ПТФ за операторами.

Оптимизация распределения функциями между операторами с учетом их текущих ПФС $f_i = const$ ($i = \overline{1..M}$) заключается в нахождении значений x_{ij} , до-

ставляющих максимальное значение общему критерию эффективности (1.8) при условиях (1.9) и ограничениях (1.10). Данная задача является задачей линейного программирования и может быть решена известными методами [70].

На основе ее решения фактическая загрузка i -го оператора ($i = \overline{1..M}$) будет определяться следующим образом (шаг 6):

$$q_i^{\text{ФАКТ}} = \sum_{j=1}^N x_{ij} Q_j. \quad (4.1)$$

После расчета фактической загрузки оператора на каждом этапе реализации ПТП (с учетом принятой периодичности разделения на этапы) происходит перераспределение ПТФ между операторами (шаг 7), исключение (возможно, временное) из производственно-технологического процесса операторов, у которых наблюдается прогрессивное снижение работоспособности (рис. 2.2).

Рассмотрим пример реализации предложенной методики в диспетчерском управлении, основываясь на функциях оперативного контроля (рис. 1.1), выполняемых операторами АРМ ПДС.

Предположим, что производственно-технологический процесс основан на выполнении $N=6$ ПТФ (табл. 4.1) $M=10$ исполнителями. Перечень компетенций операторов для реализации указанных функций представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Производственно-технологические функции операторов

№	Наименование	Q_j	w_j
1	Ведение журнала диспетчера	20	0,1
2	Решение задач оптимизации и моделирования	40	0,2
3	Контроль за режимом работы ГТС	40	0,25
4	Выполнение технологических расчетов	50	0,2
5	Контроль за состоянием оборудования	30	0,15
6	Информационные обмены	20	0,1

Исходными данными для расчета фактической загрузки операторов являются:

– матрица квалификационных профилей операторов:

$$[P]_{M \times K} = \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 & 3 & 2 & 2 & 3 & 3 & 0 & 2 & 3 & 2 & 3 & 1 & 1 \\ 3 & 3 & 3 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 2 & 3 & 3 & 1 & 3 \\ 1 & 2 & 3 & 5 & 4 & 1 & 3 & 2 & 4 & 3 & 5 & 5 & 5 & 5 & 0 \\ 2 & 4 & 3 & 4 & 3 & 0 & 4 & 1 & 4 & 4 & 3 & 4 & 3 & 2 & 5 \\ 0 & 2 & 3 & 2 & 0 & 2 & 1 & 4 & 4 & 4 & 3 & 3 & 1 & 4 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 4 & 0 & 3 & 2 & 2 & 3 & 3 & 1 & 1 & 3 \end{bmatrix};$$

Таблица 4.2 – Перечень компетенций операторов

№	Компетенция
1	Знание нормативных правовых актов, методических материалов по оперативному управлению производством
2	Знание профиля, специализации, особенностей структуры и территориального расположения подразделений предприятия, перспектив его развития
3	Знание основ технологии производства в отрасли и на предприятии
4	Знание системы и методов учета хода производства
5	Знание положений, инструкций и других руководящих материалов по разработке и оформлению технической документации
6	Системный анализ объекта моделирования и предметной области
7	Определение целей оптимизации (моделирования), критериев эффективности решений и ограничений
8	Выбор и преобразование математических моделей процессов и систем для их исследования средствами вычислительной техники
9	Разработка математических моделей, методов и компьютерных технологий для поддержки принятия решений в управлении
10	Разработка планов, программ и методик выполнения технологических

	расчетов
11	Определение целей технологических расчетов, критериев эффективности решений и ограничений
12	Знание производственных мощностей, технических характеристик, конструктивных особенностей и режимов работы оборудования, правил эксплуатации
13	Оценка, контроль и управление процессом функционирования ГТС
14	Оценка и контроль за состоянием оборудования
15	Выбор технологии, инструментальных средств и средств вычислительной техники при организации процессов информационного обмена

– матрица производственно-технологических функций

$$[R]_{N \times K} = \begin{bmatrix} 3 & 4 & 0 & 5 & 3 & 1 & 3 & 1 & 2 & 5 & 3 & 3 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 1 & 3 & 2 & 2 & 3 & 4 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 2 & 4 & 5 \\ 0 & 1 & 4 & 1 & 2 & 1 & 4 & 1 & 1 & 1 & 2 & 0 & 1 & 3 & 4 \\ 5 & 0 & 4 & 3 & 4 & 1 & 2 & 5 & 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 1 & 4 \\ 4 & 2 & 3 & 1 & 5 & 4 & 4 & 5 & 0 & 0 & 1 & 4 & 1 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & 4 & 2 & 2 & 4 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 5 & 1 & 1 & 0 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 & 1 & 1 & 5 & 0 & 1 \\ 4 & 4 & 3 & 3 & 1 & 2 & 1 & 3 & 4 & 4 & 1 & 5 & 1 & 2 & 4 \\ 3 & 1 & 5 & 0 & 1 & 4 & 4 & 0 & 2 & 5 & 5 & 4 & 0 & 3 & 5 \\ 1 & 0 & 4 & 1 & 5 & 5 & 3 & 3 & 4 & 1 & 2 & 4 & 2 & 0 & 3 \end{bmatrix};$$

– матрица профиля ПФС «усредненного»¹⁰ оператора

$$[G] = \begin{bmatrix} 72 & 40 & 50 \\ 3 \cdot 10^3 & 45 & 55 \\ 1,5 \cdot 10^4 & 55 & 65 \\ 10^3 & 45 & 55 \\ 4 \cdot 10^3 & 55 & 65 \\ 800 & 45 & 55 \end{bmatrix};$$

¹⁰ Для упрощения расчета принято допущение о равенстве матриц ПФС разных операторов

– ресурсы операторов

$$q = [30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30 \ 30].$$

При нахождении всех операторов в нормальном состоянии $f_i = 1$ ($i = \overline{1,10}$) оптимизация целевой функции (1.12) с использованием приложения Optimization 3.0 среды технических расчетов MATLAB позволила получить следующие результаты:

$$x^{\text{ОПТ}} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,67 \end{bmatrix}$$

при максимальном значении общего критерия эффективности $E = 0,6151$.

При этом фактическая загрузка исполнителей (4.2) составила

$$q^{\text{ФАКТ}} = [30 \ 0 \ 30 \ 0 \ 30 \ 30 \ 30 \ 0 \ 30 \ 20].$$

Далее моделировались различные этапы выполнения технологического процесса. При этом расчет интегральных характеристик $z(Jitter^{(i)})$ в процессе выполнения операторами ПТФ основывался на предложенной методике определения интегральных характеристик джиттера (рис. 3.2), а определение ПФС оператора – на разработанной модели (выражения (2.1)–(2.4), (3.5)). Оценки изменяющегося ПФС трех операторов¹¹, работающих только: с использованием «мыши» – f_1 , клавиатуры – f_5 и в режиме коммуникативного взаимодействия – f_7 показаны на верхних графиках (рис. 4.3).

¹¹ Моделирование проводилось в предположении оптимальной работоспособности оставшихся 7 операторов

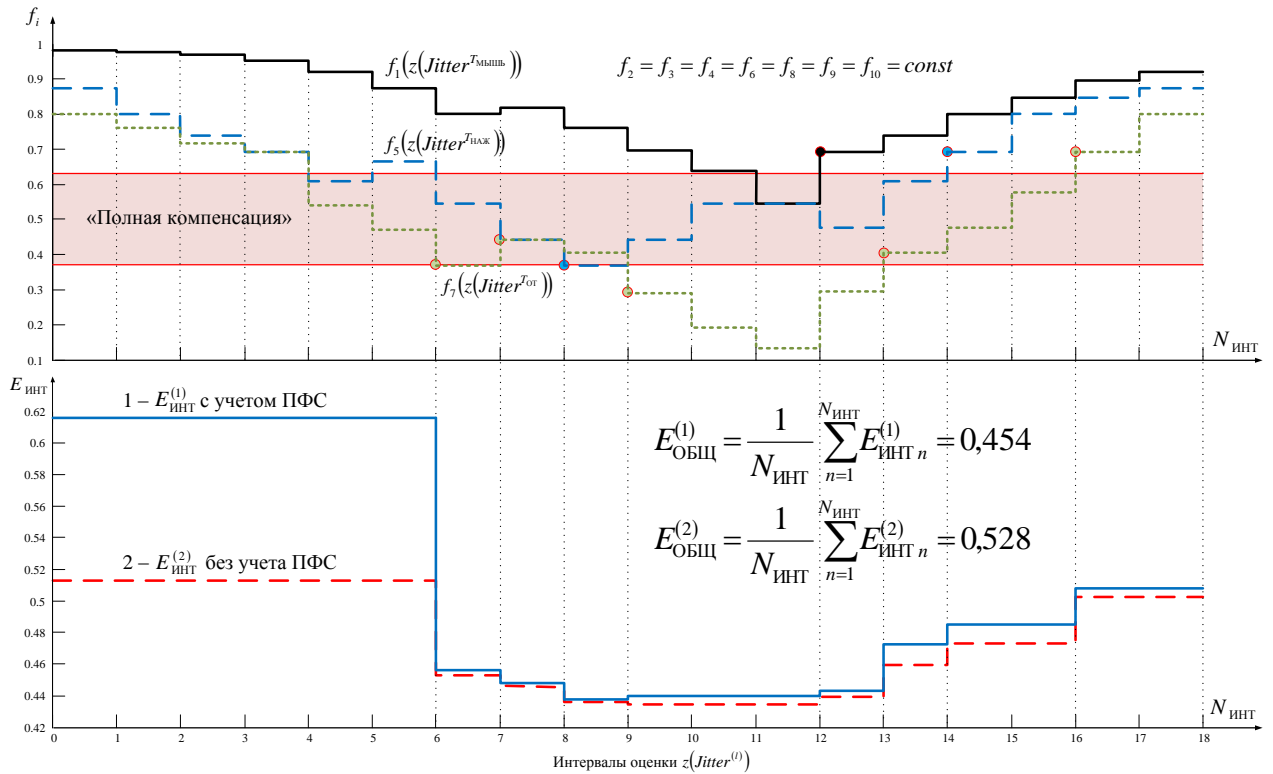


Рис. 4.3. Эффективность распределения производственно-технологических функций между операторами

Повышение производительности операторов определяется превышением кривой 1 (рис. 11), соответствующей значениям показателя эффективности (1) с учетом ПФС f_i операторов на интервалах оценки $z(Jitter^{(l)})$, над кривой 2, рассчитанной без учета ПФС. При этом эффективность распределения ПТФ между операторами в течение смены

$$E_{\text{ОБЩ}} = \frac{1}{N_{\text{ИНТ}}} \sum_{n=1}^{N_{\text{ИНТ}}} E_{\text{ИНТ } n}, \quad (4.2)$$

где $E_{\text{ИНТ } n}$ – эффективность распределения ПТФ (1.8) на n -м интервале оценки $z(Jitter^{(l)})$, в рассматриваемом примере (18 интервалов оценки ПФС) повышается на 7,4 %.

Таким образом, динамическое распределение функций на основе разработанного критерия (1.8) является адекватным задаче распределения ПТФ между

операторами АРМ с учетом их ПФС, а предложенная методика (рис. 4.1) позволяет автоматизировать процесс такого распределения.

4.2. Программно-аппаратный комплекс распределения производственно-технологических функций между операторами автоматизированных рабочих мест

Для ее реализации в производственно-диспетчерских службах ГДП и ГТП предложен соответствующий программно-аппаратный комплекс (рис. 4.4), в состав аппаратных средств которого включены:

- АРМ каждого оператора, участвующего в производственно-технологическом процессе ГДП (ГТП);
- локальная вычислительная сеть (ЛВС) Ethernet со скоростью передачи данных не менее 100 Мбит/с;
- защищенный сервер базы данных предприятия.

При реализации локальной сети на основе многопарного кабеля в ранних исследованиях [23, 45, 46, 49] автора предложена соответствующая система связи [64] и формирователь квазиоптимальных базисных функций для нее [75].

База данных предприятия необходима для хранения матриц производственно-технологических функций, квалификационных профилей и профилей ПФС операторов и должна удовлетворять следующим требованиям [14, 37, 77]:

- обеспечивать возможность администратору сети предприятия создавать новые базы данных и определять их схему (логическую структуру данных);
- позволять «запрашивать» данные и изменять их с помощью языка запросов, а также допускать интеграцию в разные приложения;
- поддерживать хранение больших массивов данных в течении длительного времени и гарантировать их безопасность и целостность;

– контролировать доступ к данным одновременно для многих исполнителей, исключая влияния запроса одного оператора на запрос другого и одновременного доступа, т.е. гарантировать параллельный доступ к данным.

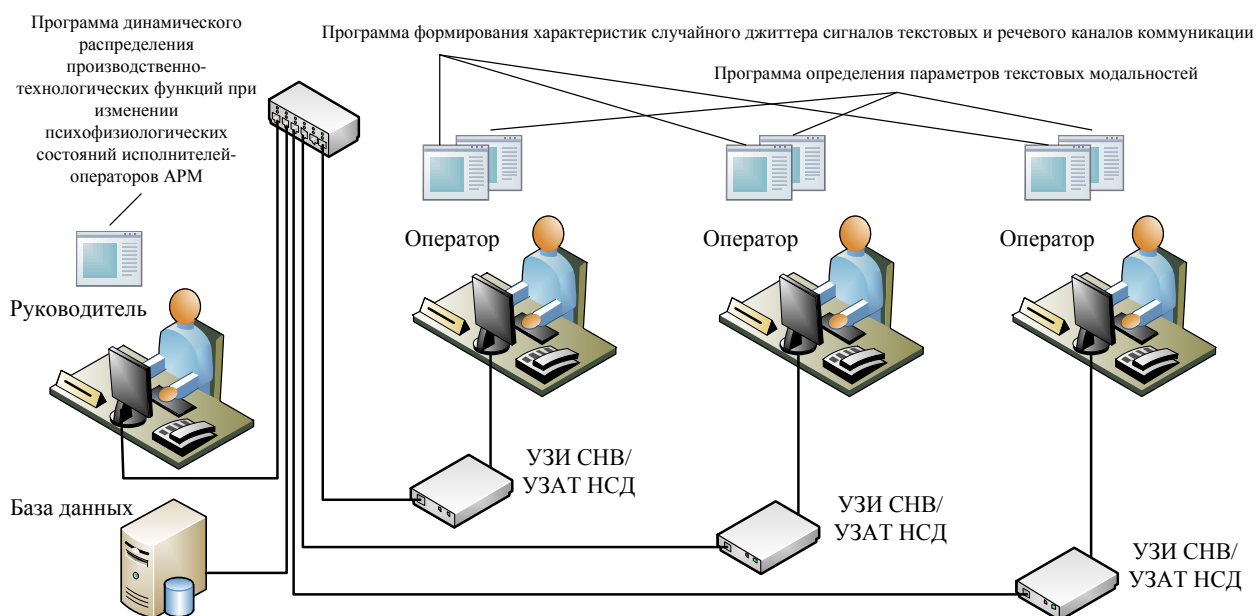


Рис. 4.4. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса распределения производственно-технологических функций между операторами

Для контроля доступа операторов к АРМ и реализации их аутентификации в предложенной методике (рис. 4.1) разработано устройство защиты абонентского терминала от несанкционированного доступа (УЗАТ НСД) [73]. Его применение (рис. 4.5) позволяет избежать несанкционированного доступа нелегитимных исполнителей к многопроводной (многопарной) линии связи (ЛС) ЛВС, в том числе в случае, когда процесс выполнения ПТФ уже начат санкционированным оператором.

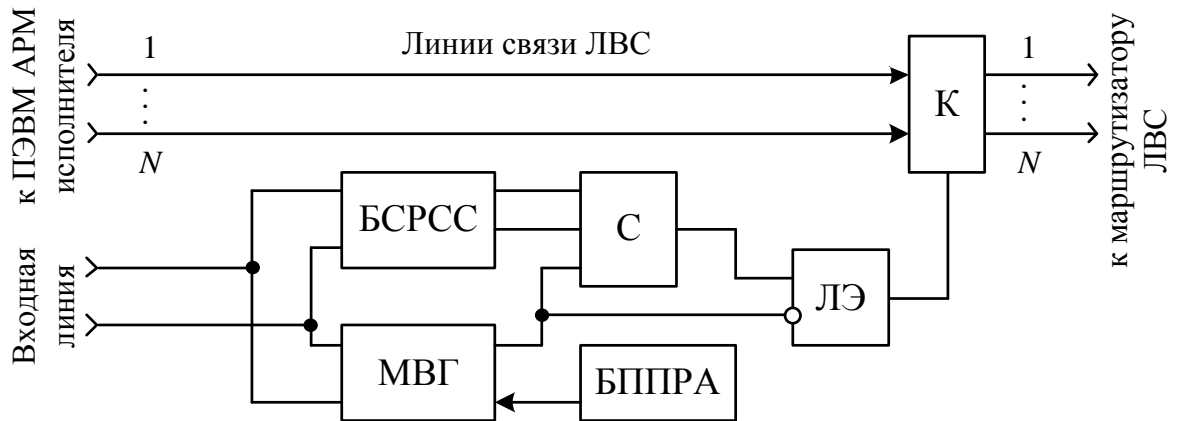


Рис. 4.5. Схема устройства защиты АРМ от НСД:

БСРСС – блок сброса и разрешения счета счетчика; МВГ – модуль верификации говорящего;

С – счетчик; БППРА – блок памяти параметров речи абонента;

ЛЭ – логический элемент «Запрет»; К – ключ

В предложенном решении аутентификация оператора осуществляется по голосу (ко входной линии подключается микрофон), в более простом случае возможен вариант использования политики управления учетными записями пользователей в операционной системе ПЭВМ.

Расчет интегральных характеристик джиттера сигналов ММВИ АРМ (шаг 4 предложенной методики закрепления ПТФ), определение ПФС (шаг 5), расчет фактической загрузки (шаг 6) операторов и перераспределение ПТФ между ними (шаг 7) осуществляется разработанными программными средствами. В их состав входят «Программа определения параметров текстовых модальностей» [58], «Программа формирования характеристик случайного джиттера сигналов текстовых и речевого каналов коммуникации» [59] и «Программа динамического распределения производственно-технологических функций при изменении психофизиологических состояний исполнителей-операторов АРМ» [57].

При их разработке учитывались следующие эксплуатационные характеристики [32]:

- правильность – функционирование в соответствии с техническим заданием;
- универсальность – обеспечение правильной работы при любых допустимых данных и защиты от неправильных данных;
- надежность (помехозащищенность) – обеспечение полной повторяемости результатов, т.е. обеспечение их правильности при наличии различного рода сбоев;
- проверяемость – возможность проверки получаемых результатов;
- точность результатов – обеспечение погрешности результатов не выше заданной;
- защищенность – обеспечение конфиденциальности информации;
- программная совместимость – возможность совместного функционирования с другим программным обеспечением;
- аппаратная совместимость – возможность совместного функционирования с некоторым оборудованием;
- эффективность – использование минимально возможного количества ресурсов технических средств, например, времени микропроцессора или объема оперативной памяти;
- адаптируемость – возможность быстрой модификации с целью приспособления к изменяющимся условиям функционирования;
- повторная входимость – возможность повторного выполнения без перезагрузки с диска.

Первые две программы работают в фоновом режиме на ПЭВМ операторов АРМ ПДС, осуществляя сбор и формирование характеристик $z(Jitter^{(l)})$ случайного джиттера сигналов ММВИ АРМ.

Программа динамического распределения ПТФ при изменении ПФС операторов АРМ [57] реализует шаги 6–9 предложенной методики (рис. 4.1) на ПЭВМ руководителя (лица, принимающего решение).

На основе проведенного анализа вычислительной сложности алгоритмов, используемых в разработанных программах, можно предъявить следующие минимальные требования к аппаратной части предлагаемого программно-аппаратного комплекса: минимальным и достаточным будет ЭВМ с процессором не ниже Pentium 4, 512 Мбайт оперативной памяти, и жестким диском 120 Гб.

Кроме того, в рамках проведенного исследования предложено устройство защиты информации от субъективных непреднамеренных помех (УЗИ СНВ) [74]. Под защитой информации от СНВ понимается предотвращение воздействия на обрабатываемую информацию ошибок ее пользователя [18], возникновение которых обусловлено, как правило, отклонениями ПФС оператора АРМ от нормального состояния. При использовании предложенного устройства для защиты информации от СНВ оператора АРМ (рис. 4.6) к его входной линии подключается микрофон, а информация от ПЭВМ к маршрутизатору ЛВС передается по линии связи через ключ. Идентификация ПФС оператора осуществляется на основе предложенных решений относительно речевого канала взаимодействия ММВИ (см. гл. 3).

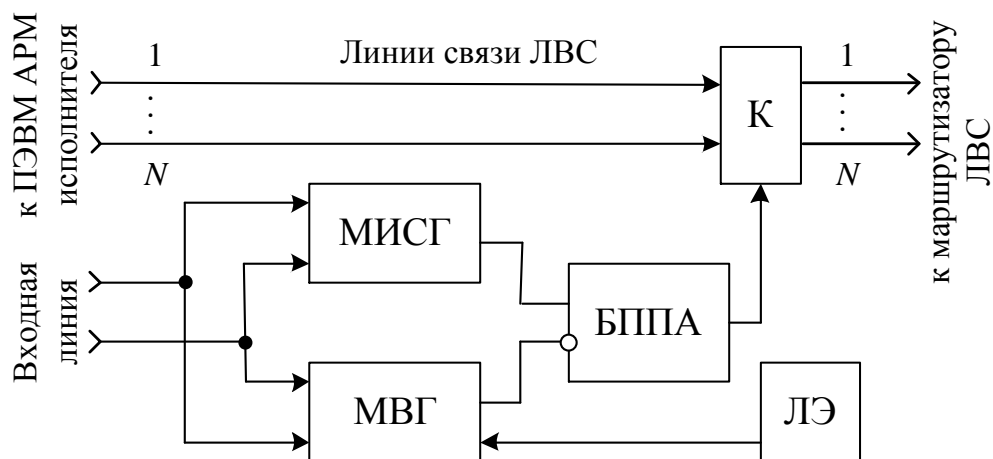


Рис. 4.6. Схема устройства защиты АРМ от СНВ:

МИСГ – модуль идентификации состояния говорящего;

МВГ – модуль верификации говорящего; БППА – блок памяти пароля абонента;

ЛЭ – логический элемент «Запрет»; К – ключ

Использование разработанного программно-аппаратного комплекса позволяет в полной мере реализовать предложенную методику распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ в производственно-диспетчерских службах ГДП и ГТП. В свою очередь, эффективность применения указанной методики доказана выше (п. 4.2) и подтверждается положительными результатами ее внедрения в деятельность ЗАО «Шнейдер Электрик», ОАО «Онгнет» и Орловского ЛПУМГ, о чем имеются соответствующие акты.

4.3. Выводы по четвертой главе

1. Предложена методика распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ, реализующая разработанный подход с использованием соответствующего программно-аппаратного

комплекса в производственно-диспетчерских службах газодобывающих и газотранспортных предприятий.

2. Исходными данными для реализации методики распределения производственно-технологических функций являются матрицы производственно-технологических функций, квалификационных профилей и профилей психофизиологического состояния операторов, показатели значимости и трудоемкости производственно-технологических функций и трудовой ресурс операторов.

3. Результаты апробации разработанной методики свидетельствуют о повышении производительности операторов АРМ и эффективности распределения производственно-технологических функций между ними в условиях изменения их психофизиологического состояния на основе предложенного критерия (на 7,4 % по сравнению с известным решением), а также о возможности автоматизации процесса такого распределения.

4. Предложен программно-аппаратный комплекс управления операторами АРМ, позволяющий повысить эффективность распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ за счет оперативного определения их психофизиологического состояния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная задача повышения производительности операторов автоматизированных рабочих мест производственно-диспетчерских служб газодобывающих и газотранспортных предприятий в условиях изменения их психофизиологического состояния.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено следующее.

1. Существующие интегрированные (MES-SCADA-ERP) АСУ газодобывающих и газотранспортных предприятий предъявляют повышенные требова-

ния к квалификации операторов производственно-диспетчерских служб и их психофизиологическому состоянию, однако существующие системы автоматизированного планирования (MES и ERP) предусматривают только приблизительное оценивание человеческих ресурсов производства и возможность планирования его показателей на этапе распределения производственных заданий.

2. Предложен подход к распределению производственно-технологических функции между операторами АРМ производственно-диспетчерских служб, основанный на нормативных профилях производственно-технологических функций и квалификационных профилях операторов и учитывающий психофизиологическое состояние последних.

3. Предложена математическая модель психофизиологического состояния оператора, объединяющая на основе обобщенной функции Харрингтона интегральные характеристики сигналов текстового и речевого каналов много-модального входного интерфейса АРМ. В качестве таких сигналов предложено использовать джиттер периода основного тона речевого сигнала, джиттер длительности нажатия и интервала между нажатиями кнопок на клавиатуре, джиттер длительности нажатия и интервала между нажатиями левой клавиши «мышь», а также джиттер сигнала ее перемещения.

4. Результаты статистического анализа джиттера сигналов много-модального входного интерфейса (отдельно для каждого оператора) указали на его непараметрический характер и необходимость их дальнейшего анализа.

5. Предложена методика определения интегральных характеристик джиттера, реализующая его формирование на основе разработанных алгоритмов, устранение компоненты джиттера, зависящей от данных, разделение периодического и случайного джиттера на основе оригинального способа заполнения неизвестных значений джиттера и оценку интегральной характеристики случайного джиттера на основе метода скользящего среднего.

6. На основе проведенных экспериментов получены результаты, свидетельствующие о сложной зависимости периодического джиттера от времени и необходимости использования случайных компонент сигналов многомодального входного интерфейса АРМ.

7. В качестве интегральной характеристики джиттера обоснован выбор доли кадров анализируемых сигналов, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает некоторое пороговое значение. Ее анализ свидетельствует о монотонном возрастании таких долей для всех рассматриваемых разновидностей джиттера и росте производной соответствующих кривых при отклонении психофизиологического состояния оператора от нормы.

8. Предложена методика распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ, реализующая разработанный подход с использованием соответствующего программно-аппаратного комплекса в производственно-диспетчерских службах ГДП и ГТП. Исходными данными для нее являются матрицы квалификационных профилей операторов, профилей психофизиологического состояния операторов и ПТФ, показатели значимости и трудоемкости функции и трудовой ресурс операторов. Для формирования профиля психофизиологического состояния операторов используются пороговые и граничные значения случайного джиттера, необходимые для расчета интегральной характеристики.

9. Результаты апробации разработанной методики свидетельствуют о повышении производительности операторов АРМ и эффективности распределения производственно-технологических функций между ними в условиях изменения их психофизиологического состояния на основе предложенного критерия (на 7,4 % по сравнению с известным решением), а также о возможности автоматизации процесса такого распределения.

10. Результаты работы внедрены в ЗАО «Шнейдер Электрик», ОАО «Онгнет», ООО «Газпром межрегионгаз Орел», а также в учебный процесс на

кафедрах «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность» ГУ-УНПК и «Электроника и теория электрической связи» Академии ФСО России, опубликованы в 12 печатных трудах, докладах на конференциях и патентных материалах.

С учетом полученных результатов можно сделать вывод, что поставленная в диссертационной работе цель достигнута и ее основные задачи решены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абакаров, А.Ш.** Об одном подходе к управлению персоналом фирмы Абакаров А.Ш., Иванов А.Ю., Сушков Ю.А. // Приложение к научно-производственному журналу «Дизайн и производство мебели». – 2005. – № 3(8). <http://tomakechoice.com>.
2. **Абашин, В.Г.** К вопросу принятия решения о текущем психофизическом состоянии оперативного персонала по клавиатурному почерку / В.Г. Абашин // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» 2007. – №4/268 (535). – С.250–251.
3. **Абашин, В.Г.** Автоматизация процесса определения психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места в АСУТП: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Абашин Валерий Геннадьевич. – Орел, 2008. – 18 с.
4. **Абашин, В.Г.** Исходные данные клавиатурного почерка для определения работоспособности человека / В.Г. Абашин // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» 2007. – №4-21268(525). – С. 136–139.
5. **Автоматизация** расчета заработной платы и кадрового учета. http://www.intelis-it.ru/services/automation_act/wages.html.
6. **Анализатор** основного тона и сигнала тон-шум: пат. на полезную модель № 78977 Рос. Федерация: МПК G 10 L 11/00 / [А.А. Рыболовлев, О.О. Басов и др.]; патентообладатель Гос. Казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2008126595; заявл. 30.06.08, опубл. 10.12.08, Бюл. № 34. 2 с.: ил.
7. **Анкудинов, И.Г.** Автоматизация управления и комплексного использования человеческих и структурных ресурсов наукоемких производств (про-

мышленность): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / Анкудинов Иван Георгиевич. – СПб. – 2009. – 32 с.

8. **Анкудинов, И.Г.** Автоматизация управления и комплексного использования человеческих и структурных ресурсов наукоемких производств (промышленность): дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 / Анкудинов Иван Георгиевич. – СПб. – 2009. – 298 с.

9. **Анкудинов, И.Г.** Оптимизационная модель подсистемы АСУ-Кадры – оценка кадровой составляющей интеллектуального капитала предприятия / И.Г. Анкудинов, Л.Ю. Романова, А.М. Стрижаченко // Проблемы машиноведения и машиностроения: Межвуз. сб. Вып. 32. – СПб.: СЗТУ. – 2004. – С. 12–32.

10. **Анкудинов, И.Г.** Оптимизационные задачи управления интеллектуальными ресурсами НИОКР / И.Г. Анкудинов // Технологии приборостроения. – 2006. – № 2. – С. 48–54.

11. **АСУП** – автоматизированная система управления персоналом. <http://itas.emd.ru/pers/index.php>.

12. **Бабкин, В.В.** Помехоустойчивый выделитель основного тона речи / В.В. Бабкин // Цифровая обработка сигналов и ее применение: материалы 7-й международной конф. М.: ИПУ РАН. – 2005. – Доклады, X-1. – С. 175–178.

13. **Баевский, Р.М.** Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии / Р.М. Баевский. М.: «Медицина», 1979. – 298 с.

14. **Барсегян, А.А.** Методы и модели анализа данных OLAP И DataMining / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. – СПб.: БВХ-Петербург, 2004. – 336 с.

15. **Басов, О.О.** Исследование характеристик джиттера периода основного тона речевого сигнала / О.О. Басов, М.В. Носов, В.А. Шалагинов // Труды СПИИРАН. – 2014. – Вып. 1(32). – С. 27–44.

16. **Беллман, Р.** Прикладные задачи динамического программирования [пер. с англ.] / Р. Беллман, С. Дрейфус; под ред. А. А. Первозванского. – М.:

Наука, гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1965. – 459 с.

17. **БОСС-Кадровик** – автоматизированная система управления персоналом. http://www.bosshr.ru/ru/boss_personnel/description_decision.

18. **ГОСТ Р 50922-2006**. Защита информации. Основные термины и определения. Госстандарт, 2006. – 18 с.

19. **Бряннов, И.И.** Особенности стато-кинетических реакций / И.И. Бряннов, Н.Д. Емельянов, А.Д. Матвеев и др. – В кн.: Космические полеты на корабле «Союз». Биомедицинские исследования. М., «Наука», 1976. С. 195–239.

20. **Дамм, В.А.** Восстановление пропущенных значений ошибок временных интервалов при разделении компонентов общего фазового дрожания цифрового сигнала / В.А. Дамм, В.А. Шалагинов, В.В. Елиферевский, А.В. Кутузов // Вестник РГРТУ. Рязань: РГРТУ. – 2008. – № 4 (26). – С.10–18.

21. **Егоров, А.С.** Психофизиология умственного труда / А.С. Егоров, В.П. Загрядский. Л.: Наука, 1973.

22. **Еременко, В.Т.** Моделирование процесса формирования экспертной группы по заданной тематике. / В.Т. Еременко, М.А. Сазонов, С.И. Фомин, В.А. Петров // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 3. – С.23–31.

23. **Еременко, В.Т.** Синтез сетей передачи данных автоматизированных систем управления на основе критерия неблокируемой маршрутизации / В. Т. Еременко, С. И. Афонин, А. И. Офицеров, О. О. Басов // Научные Ведомости Белгородского государственного университета. Серия История. Политология. Экономика. Информатика. – 2011. – № 7 (102). – Выпуск 18/1. – С. 168–176.

24. **Зараковский, Г.М.** Диагностика функциональных состояний // Введение в эргономику / Г.М. Зараковский, Б.А. Королев, В.И. Медведев, П.Я. Шлаен – М., 1974. – С. 94–110.

25. **Зельдин, Ю.М.** Концепция построения современной информационно-управляющей системы в диспетчерском центре газотранспортного

общества ОАО «Газпром» / Ю.М. Зельдин, А.А. Ковалев.
<http://www.atgs.ru/Sites/.../samara.9E337D05265F4BC8B9ABC82460B50988.pdf>.

26. **Зингерман, А.М.** К вопросу об индивидуальных особенностях саморегуляции физиологических функций / А.М. Зингерман, Б.М. Шишкин // Физиология человека. – 1977. – № 1. – С. 124–135.

27. **Зорин, П.И.** Система диспетчерского управления ООО «Газпром трансгаз Ухта» с учетом перспективного развития «Северного коридора» / П.И. Зорин, А.В. Шехтер, В.В. Кудрявцев, Е.А. Жданова // Газовая промышленность. – 2012. – № 10. – С. 30–32.

28. **Ильин, Е.П.** Психофизиология состояний человека / Е.П. Ильин. – СПб.: Питер, 2005. – 412 с.

29. **Информационно-управляющая** система диспетчерского управления как единый комплекс моделирования и контроля (по материалам ООО «Газпром добыча Ноябрьск») // Рациональное управление предприятием. – 2011. – №5. – С. 70–74.

30. **Калинцев, Ю.К.** Разборчивость речи в цифровых вокодерах / Ю.К. Калинцев. – М.: Радио и связь, 1991. – 220 с.

31. **Кобзарь, А.И.** Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

32. **Козлов, С.В.** Технологии программирования: учебное пособие / С.В. Козлов, И.Л. Андреев, В.В. Афанасьев. – Орел: Академия ФСО России, 2010. – 82 с.

33. **Корольков, А.В.** Разделение компонентов общего фазового дрожания цифрового сигнала данных / А.В. Корольков, В.А. Дамм, В.А. Шалагинов // Вестник РГРТУ. Рязань: РГРТУ. – 2009. – № 3 (29). – С.36–40.

34. **Леонова, А.Е.** Функциональные состояния человека в трудовой деятельности / А.Е. Леонова, В.И. Медведев. – М., 1981.

35. **Магомадов, В.Д.** Индикативное планирование инвестиционной деятельности строительной отрасли в регионе: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Ваха Денисович Магомадов. – М., 2008. – 21 с.

36. **Марищук, В.Л.** Функциональные состояния и работоспособность / Л.В. Марищук // Методология исследований по инженерной психологии и психологии труда. – Л., 1974. – 4.1. – гл. III. – С. 87–95.

37. **Мартин, Дж.** Организация баз данных в вычислительных системах [пер. с англ.] / Дж. Мартин, под ред. А.А. Стогния, А.Л. Щерса. – М.: Мир, 1980.

38. **Методологические** исследования по инженерной психологии и психологии труда / под ред. А.А. Крылова. Ч. 1. Л.: Изд-во ЛГУ, 1974.

39. **Никаноров, В.В.** Технические решения по развитию интегрированной АСУТП ООО «Газпром трансгаз Сургут» / В.В. Никаноров, А.М. Руденко, С.В. Жоров, П.Е. Бениаминов, И.В. Горский, О.В. Лагун // Газовая промышленность. – 2011. – № 9. – С. 85–89.

40. **Носов, М.В.** Методика разделения джиттера сигналов различных каналов взаимодействия технических средств и оператора АРМ и оценки характеристик его компонент / М.В. Носов // Информационные системы и технологии. – Орел: Госуниверситет-УНПК. – 2014. – № 3(83). – С. 63–72.

41. **Носов, М.В.** Методика управления человеческими ресурсами наукоемких производств, основанная на динамическом распределении закрепленных за операторами функций при изменении их психофизиологического состояния / М.В. Носов, А.В. Кузнецов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 3(22). – С. 96–103. <http://naukovedenie.ru/PDF/131TVN214.pdf>.

42. **Носов, М.В.** Кибернетическая модель автоматизированной системы управления в условиях изменения физиологического и психоэмоционального состояний оператора / М.В. Носов, С.П. Богданов, О.О. Басов // Материалы X Международной научно-практической конференции «Научная мысль информа-

ционного века – 2014». Выпуск 31. Технические науки. *Przemysl. Nauka i studia.* – 72 с. – С. 48–49.

43. **Носов, М.В.** Критерий эффективности управления человеческими ресурсами / М.В. Носов, О.О. Басов // Сборник материалов VII Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014». Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ. – 2014. – С. 64–65.

44. **Носов, М.В.** Математические модели и алгоритмы формирования джиттера сигналов текстового канала взаимодействия технических средств и оператора АРМ / М.В. Носов, Е.А. Васечкин, О.О. Басов // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (22-23 мая 2014 года). Орел: ГУ-УНПК, 2014. http://youconf.ru/files/itnop2014/Носов_Васечкин_Басов.pdf.

45. **Носов, М.В.** Методика оценки процедур управления неоднородной вычислительной сети по критерию пропускной способности размера кадра / М.В. Носов, А.И. Офицеров, В.М. Парамохин // Информационные системы и технологии. – Орел: Госуниверситет-УНПК. – 2012. – № 2(70). – С.114–123.

46. **Носов, М.В.** Моделирование асинхронной доставки сообщений с учетом блокировок буферной памяти промежуточных звеньев в среде передачи данных предприятия / М.В. Носов, Р.Н. Калинин, В.И. Петров // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Моделирование и прогнозирование в управлении: методы и технологии». Орел: Орловская региональная академия государственной службы, 2012. – С.78–83.

47. **Носов, М.В.** Оценивание психофизиологического состояния человека по сигналам различных каналов взаимодействия с техническими средствами автоматизированных рабочих мест / М.В. Носов, О.О. Басов // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Современные инновации в науке и технике» (18 апреля 2014 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв.ред); Юго-Зап. гос. ун-т. В 3-х томах, Том 2., Курск, 2014. – 351 с. – С.72–75.

48. **Носов, М.В.** Повышение эффективности управления в условиях изменения психофизиологического состояния персонала / М.В. Носов, О.О. Басов, П.Ю.Хахамов // Труды СПИИРАН, 2014. – Вып. 3 (34). – С. 112–135.

49. **Носов, М.В.** Способы и приёмы управления трафиком в неоднородной вычислительной сети на основе оптимизации размера кадра / М.В. Носов // Материалы международной Интернет-конференции «Информационные системы и технологии» (1 апреля – 31 мая 2013 года). Орел: ГУ-УНПК, 2014. http://isit-conf.gu-unpk.ru/media/transfer/Material/2/462/СПОСОБЫ_И_ПРИЁМЫ_УПРАВЛЕНИЯ_ТРАФИКОМ_В_НЕОДНОРОДНОЙ_ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ_СЕТИ_НА_ОСНОВЕ_ОПТИМИЗАЦИИ_РАЗМЕРА_КАДРА_2.doc.

50. **Организация** взаимодействия человека с техническими средствами АСУ. В 7 кн. Кн. 1. Инженерно-психологическое проектирование взаимодействия человека с техническими средствами / под ред. В. Н. Четверикова. – М.: Высш. шк., 1990. – 127 с.: ил.

51. **Организация** взаимодействия человека с техническими средствами АСУ. В 7 кн. Кн. 6. Персональные автоматизированные информационные системы и дисплейные комплексы / под ред. В. Н. Четверикова. – М.: Высш. шк., 1991. – 143 с.

52. **Отраслевая** система оперативно-диспетчерского управления (ОСОДУ) ЕСГ России. Общесистемные требования. – ОАО «Газпром». – 1997.

53. **Пирогов, А.А.** Вокoderная телефония / А.А. Пирогов. – М.: Связь, 1974. – 536 с.

54. **Пичкалев, А.В.** Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств / А.В. Пичкалев // Исследования наукограда. – Январь-март 2012. – № 1 (1). – С. 25–28.

55. **Пичкалев, А.В.** Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автоматизированных систем контроля / А.В. Пичкалев // Вестник КГТУ. – 1997. – С. 128–132.

56. **Потапова, Р.К.** Речь: коммутация, информация, кибернетика / Р.К. Потапова – М.: Радио и связь, 1997. – 528 с.

57. **Программа** динамического распределения производственно-технологических функций при изменении психофизиологических состояний исполнителей-операторов АРМ: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615750 от 02.06.2014 / О.О. Басов, М.В. Носов, П.А. Сысоев, Д.А. Гуляйкин.

58. **Программа** определения параметров текстовых модальностей: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613478 от 27.03.2014 / О.О. Басов, М.В. Носов, В.В. Никитин, Д.А. Гуляйкин.

59. **Программа** формирования характеристик случайного джиттера сигналов текстовых и речевого каналов коммуникации: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616058 от 10.06.2014 / О.О. Басов, М.В. Носов, В.В. Никитин, Д.А. Гуляйкин.

60. **Ронжин, А.Л.** Многомодальные интерфейсы: основные принципы и когнитивные аспекты / А.Л. Ронжин, А.А. Карпов // Труды СПИИРАН. – СПб.: Наука, 2006. – Вып. 3. – том 1. – С. 300–319.

61. **Румянцева, А.Г.** Исследование индивидуальных особенностей психофизиологической адаптации операторов к выполнению монотонной деятельности / А.Г. Румянцева // Психофизиологические исследования функционального состояния человека-оператора. Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1993. – 109 с.

62. **Сайковская, Л.Ф.** Результаты использования корреляционного метода для моделирования состояния человека-оператора / Л.Ф. Сайковская // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2009. – № 3(21). – С. 149–152.

63. **Сапожков, М.А.** Речевой сигнал в кибернетике и связи / М.А. Сапожков – М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1963. – 450 с.

64. **Система** связи по многопарному кабелю связи: пат. № 2496249 Рос. Федерация: МПК Н 04 М 11/00 / [А.А. Батенков, М.В. Носов и др.]; патентообладатель Гос. Казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2012109380/07; заявл. 12.03.12, опубл.20.10.2013, Бюл. № 29. 13 с.: ил.

65. **Смирнов, С.В.** Автоматизация планирования производственных заданий в процессе управления персоналом промышленного предприятия: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.13.06 / Смирнов Сергей Владимирович. – Орел, 2013. – 16 с.

66. **Смирнов, С.В.** Идентификация параметров загрузки оператора по требуемому уровню надежности / С.В. Смирнов // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 4 (72). – С. 78–85.

67. **Смирнов, С.В.** Проектирование автоматизированных систем поддержки и принятия решения по обеспечению надежности профессиональной деятельности персонала / С.В. Смирнов // Известия ОрелГТУ. Серия «Информационные системы и технологии». – 2007. – № 4-2/268 (535). – С. 231–236.

68. **Соболев, В.Н.** Информационные технологии в синтетической телефонии / В.Н. Соболев // моногр. – М.: ИРИАС, 2007. – 360 с.

69. **Способ** разделения джиттера периода основного тона речевого сигнала: пат. № 2419166 Рос. Федерация: МПК G 10 L 11/00, G 01 R 13/00 / [О.О. Басов, В.А. Шалагинов и др.]; патентообладатель Гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2009144611/09; заявл. 01.12.09, опубл. 20.05.2011, Бюл. № 14. 14 с.: ил.

70. **Таха, Х.** Введение в исследование операций: пер. с англ. / Х. Таха. – М.: Мир, 1985. – 479 с.

71. **Управление** компетенциями, аттестациями и обучением.
<http://v8.lc.ru/hrm/12/123.htm>.

72. **Управление персоналом на основе компетенций.** www.atg-consult.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=51&Itemid.

73. **Устройство** защиты абонентского терминала от несанкционированного доступа к линии связи: заявка на полезную модель № 2014111684 от 26.03.2014: МПК Н04М 3/42 / [В.В. Никитин, М.В. Носов, Ю.Б. Иванов, О.О. Басов]; заявитель и патентообладатель Гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России.

74. **Устройство** защиты информации от субъективных непреднамеренных воздействий: заявка на полезную модель № 2014111685 от 26.03.2014. МПК Н04М 3/42 / [М.В. Носов, В.В. Никитин, Ю.Б. Иванов, О.О. Басов] заявитель и патентообладатель Гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России.

75. **Формирователь** квазиоптимальных базисных функций для системы связи по цифровым абонентским линиям: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013615219 от 06.02.2013 / [М.В. Носов, К.А. Батенков и др.].

76. **Частотный** фильтр: пат. на полезную модель № 76185 Рос. Федерация: МПК Н04В 1/69 / [В.А. Дамм, В.А. Шалагинов и др.]; патентообладатель Гос. казенное образовательное учреждение высш. проф. образования Академия ФСО России. – № 2008115603; заявл. 21.04.08, опубл. 10.09.08, Бюл. № 35. 3 с.: ил.

77. **Швецов, В.И.** Базы данных: учебное пособие / В.И. Швецов, А.Н. Визгунов, И.Б. Мееров. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2004. – 217 с.

78. **Шинкарев, В.** Интерфейс налицо / В. Шинкарев. – <http://www.hifinews.ru/print/article/details/765.htm>.

79. **Adams, W.** Semantic indexing of multimedia content using visual, audio, and text cues / W. Adams, G. Iyengar, C. Lin, M. Naphade, C. Neti, H. Nock, J. Smith // EURASIP J. Appl. Signal Process. – 2003(2). – P. 170–185.

80. **Aguilar, J.F.** A comparative evaluation of fusion strategies for multimodal biometric verification / J.F. Aguilar, J.O. Garcia, D.G. Romero, J.G. Rodriguez // International Conference on Video-Based Biometric Person Authentication. – Guildford. – P. 830–837.

81. **Bendjebbour, A.** Multisensor image segmentation using Dempster–Shafer fusion in markov fields context / A. Bendjebbour, Y. Delignon, L. Fouque, V. Samson, W. Pieczynski // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 39(8). – P. 1789–1798.

82. **Bredin, H.** Audio-visual speech synchrony measure for talking-face identity verification / H. Bredin, G. Chollet // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. – Paris. – vol. 2. – P. 233–236.

83. **Brooks, R.R.** Multi-sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software / R.R. Brooks, S.S. Iyengar. – Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ.

84. **Buckwalter, J.** A 10 Gb/s Data-Dependent Jitter Equalizer / J. Buckwalter, A. Hajimiri. // IEEE Custom integrated circuit conference, 2004. – P. 39–42.

85. **Buckwalter, J.** Deterministic jitter in broadband communication: Ph.D. Dissertation / J. Buckwalter. – California inst. Technol. – Pasadena, 2006.

86. **Burges, C.J.C.** A tutorial on support vector machines for pattern recognition / C.J.C. Burges // Data Mining and Knowledge Discovery. – 2(2). – P. 121–167.

87. **Chen, Q.** Anomaly detection using the Dempster–Shafer method / Q. Chen, U. Aickelin // International Conference on Data Mining. – Las Vegas. – P. 232–240.

88. **Chu, Wai C.** Speech coding algorithms: Foundation and evolution of standardized coders / Wai C. Chu: John Wiley & Sons, Inc. – Hoboken, New Jersey: USA, 2003. – 558 p.

89. **Comparison** of Different Jitter Analysis Techniques with a Precision Jitter Transmitter // Agilent Technologies Application Note 5989-3205EN. <http://www.agilent.com>.

90. **Dong, Li** Time series analysis of jitter in sustained vowels / Li Dong // ICPhS XVII, Hong Kong, 17-21 August, 2011. – P. 603–606.

91. **Draving, S.D.** Finding data dependent jitter with a DDJ calculator configured by regression / S.D. Draving, A. Montijo // US Patent № US 7248982 B1. – Jul. 24, 2007.

92. **Draving, S.D.** Method and apparatus for decomposing signal jitter using multiple acquisitions / S.D. Draving // US Patent № US 6898535 B2. – May 24, 2005.

93. **Draving, S.D.** Method and apparatus use re-sampled TIE records to characterize jitter in a digital signal / S.D. Draving, A. Montijo // US Patent Application Publication № US 2006/0045175 A1. – Mar. 2, 2006.

94. **Draving, S.D.** Method of finding data dependent timing and voltage jitter for different bits in an arbitrary digital signal in accordance with selected surrounding bits / S.D. Draving, A. Montijo // US Patent Application Publication № US 2006/0093027 A1. – May 4, 2006.

95. **Fiber Channel** – Methodologies for Jitter and Signal Quality Specification. National Committee for Information Technology Standardization (NCITS), working draft for Rev. 10. Washington, DC, 2003.

96. **Guenther, Mark L.** Method for decomposing timing jitter on arbitrary serial data sequences / Mark L. Guenther // US Patent № US 7254168 B2. – Aug. 7, 2007.

97. **Guenther, Mark L.** Method for decomposing timing jitter on arbitrary serial data sequences / Mark L. Guenther // US Patent № US 7254168 B2. – Aug. 7, 2007.

98. **Hall, D.L.** An introduction to multisensor fusion / D.L. Hall, J. Llinas // Proceedings of the IEEE: Special Issues on Data Fusion. – Vol. 85. – № 1. – P. 6–23.

99. **Huang, X.** Spoken language processing: a guide to theory, algorithm and system development / X. Huang, A. Acero, H.-W. Hon. New Jersey, Prentice Hall, Inc, 2001. – 980 p.

100. **Iyengar, G.** Audio-visual synchrony for detection of monologue in video archives / G. Iyengar, H.J. Nock, C. Neti // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Hong Kong.

101. **Kittler, J.** On combining classifiers / J. Kittler, M. Hatef, R.P. Duin, J. Matas // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 20(3). – P. 226–239.

102. **Kuo, A.** Crosstalk Bounded Uncorrelated Jitter (BUJ) for High-Speed Interconnects / A. Kuo, R. Rosales. T. Farahmand, S. Tabatabaei, A. Ivanov // IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement. – Oct. 2005. – Vol.54. – № 5. – P. 1800–1810.

103. **Makkook, M.A.** A multimodal sensor fusion architecture for audio-visual speech recognition/ M.A. Makkook // MS Thesis, University of Waterloo, Canada.

104. **Mitsuyoshi, Sh.** Emotion recognizing method, sensibility creating method, device, and software / Shunji Mitsuyoshi // US Patent Application Publication № US 7340393. – March 4, 2008.

105. **Networks and Multimedia** [Электронный ресурс] / IT – Instituto de Telecomunicacoes. URL: http://www.it.pt/area_p_3.asp.

106. **Ni, J.** An image recognition method based on multiple bp neural networks fusion/ J. Ni, X. Ma, L. Xu, J. Wang // IEEE International Conference on Information Acquisition.

107. **Oviatt, S. L.** Multimodal Interactive Maps: Designing for Human Performance // Human Computer Interaction. Special Issue on Multimodal Interfaces. – Vol. 12. – 1997. – P. 93–129.

108. **Pitsikalis, V.** Adaptive multimodal fusion by uncertainty compensation / V. Pitsikalis, A. Katsamanis, G. Papandreou, P. Maragos // Ninth International Conference on Spoken Language Processing. Pittsburgh.
109. **Reddy, B.S.** Evidential reasoning for multimodal fusion in human computer interaction (2007) / B.S. Reddy // MS Thesis, University of Waterloo, Canada.
110. **Riehl, H.** Skills-Based Management: New Key to IS Productivity / H. Riehl. – 1997. <http://www.dciexpo.com/speakers/riehl.htm>.
111. **Rodger, K.L.** Systems and methods for jitter analysis of digital signals / K.L. Rodger, K.W. Ferguson, K. Chun Yeung Hung, J. Paul James Benson, A.S. Wright // US Patent № US 7388937 B1. – Jun. 17, 2008.
112. **Schoentgen, J.** Time series analysis of jitter / J. Schoentgen, R.D. Guchteneere // Journal of Phonetics, 23(1-2), 1994. – P. 189–201.
113. **Silva, D.G.** Jitter Estimation Algorithms for Detection of Pathological Voices / D.G. Silva, L.C. Oliveira, M. Andrea // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. Hindawi Publishing Corporation, 2009. – P. 1–9.
114. **Skills** Management. Reasonable Expectations, Strategic Considerations and Success Factors // SkillView Technologies, Inc.. – 2001. <http://www.skillview.com/library.html>.
115. **Snoek, C.G.M.** Early versus late fusion in semantic video analysis / C.G.M. Snoek, M. Worring, A.W.M. Smeulders // ACM International Conference on Multimedia, Singapore. – P. 399–402.
116. **Supplee, L. M.** The new Federal Standard at 2400 bps / L. M. Supplee, R. P. Cohn, J.S, Collura // IEEE ICASSP-97 Conference, Munich Germany. – P. 1591–1594.
117. **Tabatabaei, S.** Data-dependent jitter (DDJ) calibration methodology / S. Tabatabaei, T. Farahmand // US Patent Application Publication № US 2006/0120444 A1. – Jun. 8, 2006.

118. **Tabatabaei, S.** Jitter spectrum analysis using random sampling / S. Tabatabaei // US Patent Application Publication № US 2007/0110146 A1. – May 17, 2007.
119. **Tabatabaei, S.** System and method of obtaining data-dependent jitter (DDJ) estimates from measured signal data / S. Tabatabaei, M. Beb-Zeev, P.F. Miller // US Patent № US 7203610 B2. – Apr. 10, 2007.
120. **Vasilakis, M.** A mathematical model for accurate measurement of jitter / M. Vasilakis, Y. Stylianou – Maveba, Florence, 2007. – P. 7–10.
121. **Vasilakis, M.** Voice pathology detection based on short-term jitter estimations in running speech / M. Vasilakis, Y. Stylianou // Folia Phoniatr Logop 509-T1. S. Karger AG, Basel, 2009.
122. **Ward, B.A.** Apparatus and method for spectrum analysis-based serial data jitter measurement / B.A. Ward, K. Tan, M.L. Guenther // US Patent № US 6832172 B2. – Dec. 14, 2004.
123. **Wu, H.** Sensor data fusion for context-aware computing using Dempster–Shafer theory. Ph.D. thesis / H. Wu – The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.
124. **Xu, H.** Fusion of AV features and external information sources for event detection in team sports video / H. Xu, T.S. Chua // ACM Transactions of. Multimedia Computing, Communications and Applications. – 2(1). – P. 44–67.