

На правах рукописи

НОСОВ МАКСИМ ВАСИЛЬЕВИЧ

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

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орёл – 2014

Работа выполнена на кафедре «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс».

- Научный руководитель: кандидат технических наук
Басов Олег Олегович.
- Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ронжин Андрей Леонидович,
Санкт-Петербургский институт информатики
и автоматизации РАН,
заведующий лабораторией речевых
и многомодальных интерфейсов;
- кандидат технических наук, доцент
Ломакин Владимир Васильевич,
ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет»,
заведующий кафедрой информационного
менеджмента.
- Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Брянский гос-
ударственный технический университет».

Защита состоится « 28 » октября 2014 г. в 13-00 на заседании диссертационного совета Д 212.182.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» по адресу: 302020, РФ г. Орел, Наугорское шоссе, 29, (ауд. 212).

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК».

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.182.01
кандидат технических наук, доцент

Волков Вадим Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одной из ключевых составляющих обеспечения эффективного управления газотранспортной системой 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) обсуживаемого 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.

Объектом исследования являются производственно-диспетчерские службы газодобывающих и газотранспортных предприятий.

Предмет исследования – подходы к распределению ПТФ 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 ГДП и ГТП в условиях изменения их психофизиологического состояния.

Научная задача исследования 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.

В работе решаются следующие основные задачи:

- проблемно-классификационный анализ задачи распределения производственно-технологических функций между 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 между 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 нормаль-

ного 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.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «Моделирование и прогнозирование в управлении: методы и технологии» (12-14 ноября 2012, г. Орел), Международной научно-технической Интернет-конференции «Информационные системы и технологии» (01 апреля – 31 мая 2013, г. Орел), X Международной научно-практической конференции «Научная мысль информационного века – 2014», (07–15 марта 2014, Польша), VII Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014» (22-27 апреля 2014, г. Ростов-на-Дону), 4-й Международной научно-практической конференции «Современные инновации в науке и технике» (18 апреля 2014, г. Курск), VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (22-23 мая 2014, г. Орел).

Публикации. По результатам исследований опубликовано четыре статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня Министерства образования и науки РФ, получены патент РФ на изобретение, 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, имеются 2 положительных решения о выдаче патента на полезную модель.

Реализация работы. 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 «Газпром 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.

На защиту выносятся следующие положения:

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.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 37 иллюстраций и 4 таблицы, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 124 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, сформулированы цель и задачи, показаны направления исследований, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен проблемно-классификационный анализ задачи распределения ПТФ за исполнителями, формализованы факторы, влияющие на процесс и результаты их работы. Показано, что в условиях MES-SCADA-ERP интеграции актуальной проблемой является автоматизация распределения ПТФ за операторами АРМ ПДС.

Предложен подход, основанный на Skills-Based (SB) Management и реализующий представление производственно-технологического процесса (ПТП) в виде комплекса взаимосвязанных работ (одной или нескольких ПТФ). Для выполнения ПТФ оператором или при его участии необходимо, чтобы он владел соответствующими компетенциями. Автоматизация в рамках данного подхода основана на двух типах моделей.

Модель, представляющая требуемые уровни компетенций оператора $\bar{R}_j = (R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jk}, \dots, R_{jK})$, необходимые для выполнения j -й функции ПТП, названа нормативным профилем j -й ПТФ ($j = \overline{1, N}$). Профиль ПТФ формируется экспертным путем при проектировании ПТП и включается в его рабочий паспорт. Набор оценок $\bar{P}_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}, \dots, P_{iK})$, где P_{ik} – фактический уровень i -го оператора по k -ой компетенции ($k = \overline{1, K}$), назван квалификационным профилем (профилем компетенций) i -го оператора ($i = \overline{1, M}$).

Матрицы $[R]_{N \times K}$ и $[P]_{M \times K}$ составляют основу задачи оптимального распределения функций между операторами АРМ:

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

при условии закрепления достаточного числа операторов за каждой функцией и ограничениях на их загрузку

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1; \quad \sum_{j=1}^N x_{ij} Q_j \leq q_i, \quad (2)$$

где $E_i = f_i \sum_{j=1}^N e_{ij} x_{ij}$ – производительность i -го оператора; $0 \leq f_i \leq 1$ – оценка его ПФС

($f_i = 1$ соответствует норме); $e_{ij} = w_j \sum_{k=1}^K (\min(P_{ik}, R_{jk})) / \sum_{k=1}^K R_{jk}$ – эффективность закрепления i -го оператора за j -й функцией; w_j – показатель значимости j -й функции

($\sum_{j=1}^N w_j = 1$); $0 \leq x_{ij} \leq 1$ – доля j -й функции, выполняемая i -м оператором; Q_j – трудоемкость выполнения j -й функции; q_i – трудовой ресурс i -го оператора.

Для реализации предложенного подхода на основе решения задачи (1) необходимо исследовать ММВИ АРМ ПДС, обосновать выбор соответствующих сигналов ПФС оператора и формализовать модель f_i таких состояний.

Во второй главе представлена модель ПФС оператора, позволяющая получать соответствующие оценки по доступной для анализа информации от ММВИ АРМ.

Установлено, что АРМ ПДС используют ММВИ, реализующие:

- 1) традиционный ввод с помощью клавиатуры и «мыши» (текстовый канал), обеспечивающий непосредственное выполнение ПТФ с использованием АРМ;
- 2) речевой ввод при информационном обмене между операторами.

Использование информации от ММВИ АРМ позволяет повысить точность определения ПФС оператора, выполняющего различные ПТФ, по сравнению с одномодалными интерфейсами человеко-машинного взаимодействия.

В качестве соответствующих им сигналов ПФС оператора в работе предложены джиттер $Jitter^{T_{от}}$ периода основного тона (ОТ) $T_{от}$ речевого сигнала, джиттер $Jitter^{t_{наж}}$ длительности нажатия $t_{наж}$ и $Jitter^{T_{наж}}$ интервала между нажатиями $T_{наж}$ кнопок на клавиатуре, джиттер $Jitter^{t_{нажЛКМ}}$ длительности нажатия $t_{нажЛКМ}$ и $Jitter^{T_{нажЛКМ}}$ интервала между нажатиями $T_{нажЛКМ}$ нажатия левой клавиши «мыши» (ЛКМ), а также джиттер $Jitter^{T_{мышь}}$ сигнала ее перемещения $T_{мышь}$. При этом под джиттером $Jitter^{(l)}$ l -го сигнала ($l = \overline{1,6}$) понимается изменение его периода, оцениваемое путем вычитания из каждого значения последовательности значений периода его предшествующего значения:

$$Jitter_t^{(l)} = T_t - T_{t-1}, \quad (3)$$

где T_t – значение периода, вычисленное на t -м фрагменте (кадре) l -го сигнала ПФС.

Основываясь на концепции прогнозирования состояний Баевского Р.М., предложено динамику работоспособности оператора описывать логистической функцией Е.К. Харрингтона (рис. 1):

$$d^{(l)} = \exp[-\exp(-y^{(l)})], \quad (4)$$

$$y^{(l)} = \frac{z_{\max}^{(l)} - z(Jitter^{(l)})}{z_{\max}^{(l)} - z_{\min}^{(l)}}, \quad (5)$$

где $z(Jitter^{(l)})$, $z_{\max}^{(l)}$, $z_{\min}^{(l)}$ – значения интегральной характеристики l -го джиттера, верхней и нижней границ области «Полная компенсация» шкалы y соответственно.

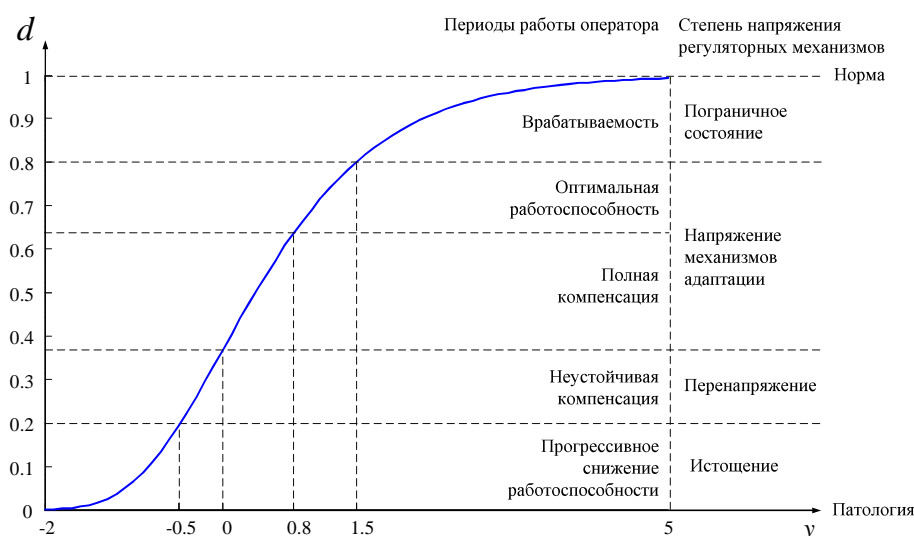


Рисунок 1 – Функция Харрингтона

Модель ПФС оператора представляется объединением характеристик $z(Jitter^{(l)})$ на основе обобщенной функции Харрингтона:

$$f_i = \sqrt[S]{d^{(1)} \cdot d^{(2)} \cdot \dots \cdot d^{(S)}}, \quad (6)$$

где S – число доступных для анализа сигналов ПФС оператора. Для их формирования разработаны соответствующие алгоритмы оценивания величин T_t .

Для использования в различных акустических условиях человеко-машинного взаимодействия предложен алгоритм определения периода T_{OT} (рис. 2), 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.

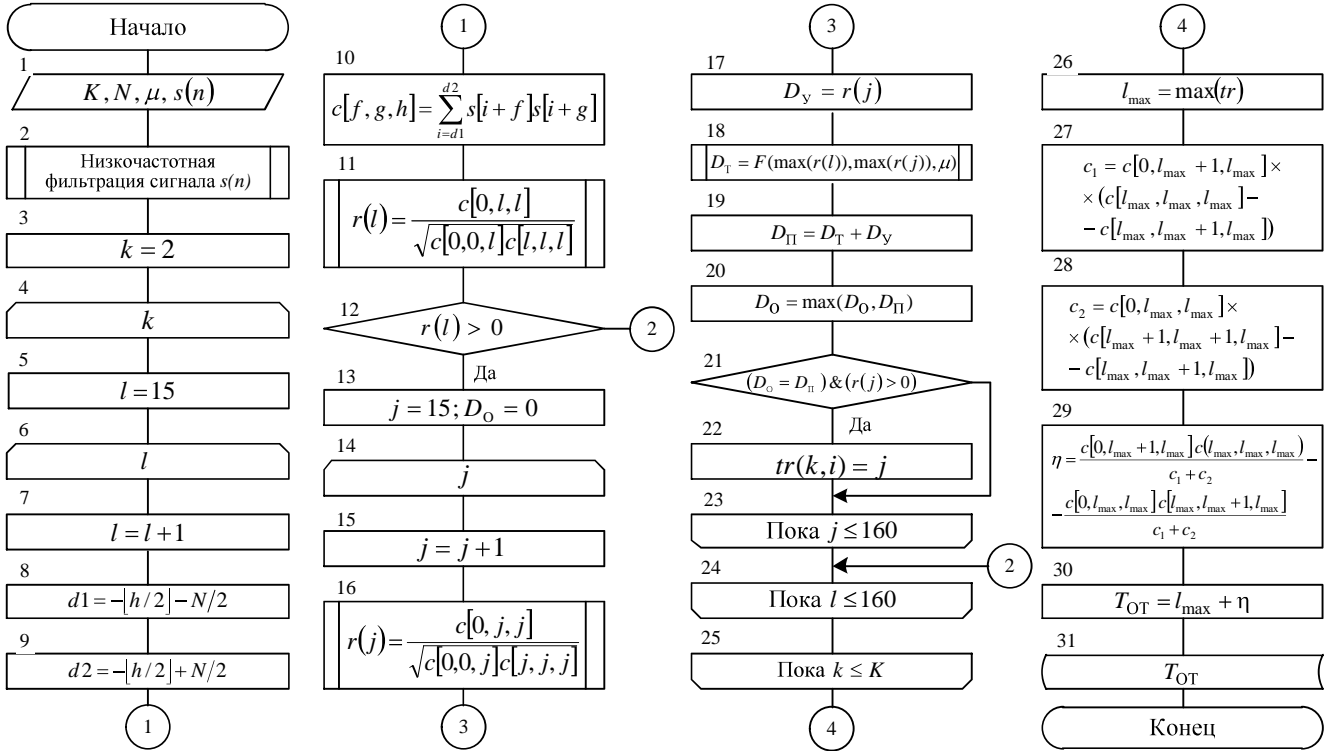


Рисунок 2 – Алгоритм определения периода ОТ речевого сигнала

Особенностями разработанного алгоритма определения ОТ по сравнению с существующими решениями являются: ограничение поиска траектории ОТ конечным числом точек с целью реализации анализатора в реальном масштабе времени; использование комбинированного метода независимой оценки траектории ОТ по интервалам прошлых и будущих кадров РС с последующим выбором лучшего результата на основе решения задачи динамического программирования, эффективно снижающего ошибки определения ОТ в начале и конце вокализованных звуков; определение дробного периода ОТ для его оптимального целочисленного значения.

Результаты сравнения разработанного алгоритма с существующими на записях речи трех дикторов, читающих текст газетных статей, свидетельствуют о его превосходстве по точности (до 39%) в различных акустических условиях.

Для определения моментов нажатия кнопок клавиатуры и «мыши» разработан соответствующий алгоритм, фиксирующий в виде массива $[A_k]_{t \times 3}$ ($t = 1, 2, \dots, t_{stop}$ – порядковый номер нажатой клавиши): код клавиши, ее состояние (1 – нажата, 0 – отжата) и момент считывания (машинное время), а в виде массива $[A_m]_{t \times 3}$: относительное положение курсора «мыши» по горизонтали $S.X$ и вертикали $S.Y$ и момент считывания его положения. Для преобразования $[A_k]_{t \times 3}$ в искомые величины $t_{\text{наж}t} \in t_n$, $T_{\text{наж}t} \in T_n$, $t_{\text{нажЛКМ}t} \in t_n - 1$ и $T_{\text{нажЛКМ}t} \in T_n - 1$ разработан следующий алгоритм (рис. 3).

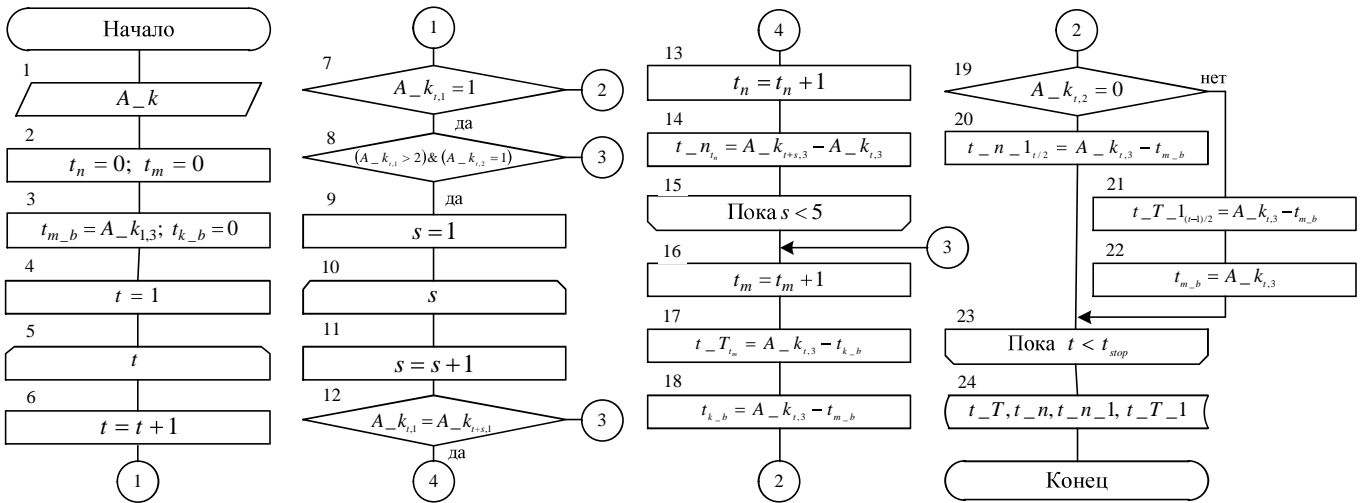


Рисунок 3 – Алгоритм определения длительности нажатия и интервала между нажатиями кнопок клавиатуры и «мыши»

Принцип формирования сигнала перемещения «мыши» основан на измерении длительности нарастания и спада ее выходного сигнала посредством сравнения ее выходного напряжения $U_M = \sqrt{(C.X_t - C.X_{t-1})^2 + (C.Y_t - C.Y_{t-1})^2}$ с двумя пороговыми уровнями U_1 и U_2 (определяются экспериментально). Длительность $t_k = (U_1 - U_2) / V_k$ выходных импульсов обратно пропорциональна скорости изменения V_k фронта и среза выходного сигнала «мыши» и характеризует «периодичность» ее движения (кисти руки оператора). На основе изложенного принципа массив $[A_m]_{t \times 3}$ преобразуется в значения «периода движения мыши» $T_{\text{мышь}_t} \in t_T_m$ (рис. 4).

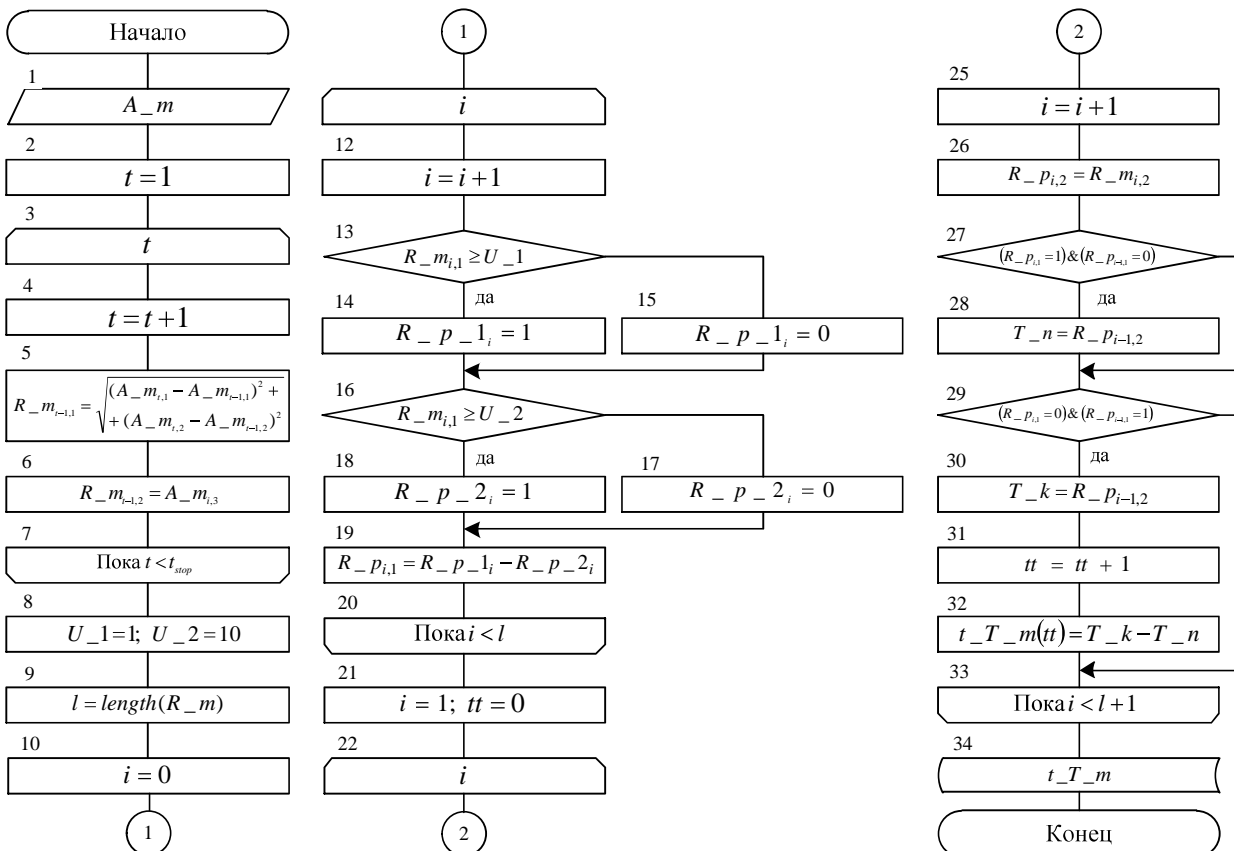


Рисунок 4 – Алгоритм формирования сигнала перемещения «мыши»

Полученные массивы значений характеристических последовательностей нажатия кнопок клавиатуры и ЛКМ, а также перемещения «мыши» используются для определения их джиттера (рис. 5). Особенностью разработанного алгоритма является возможность выбора доступного (l) для анализа сигнала ММВИ АРМ.

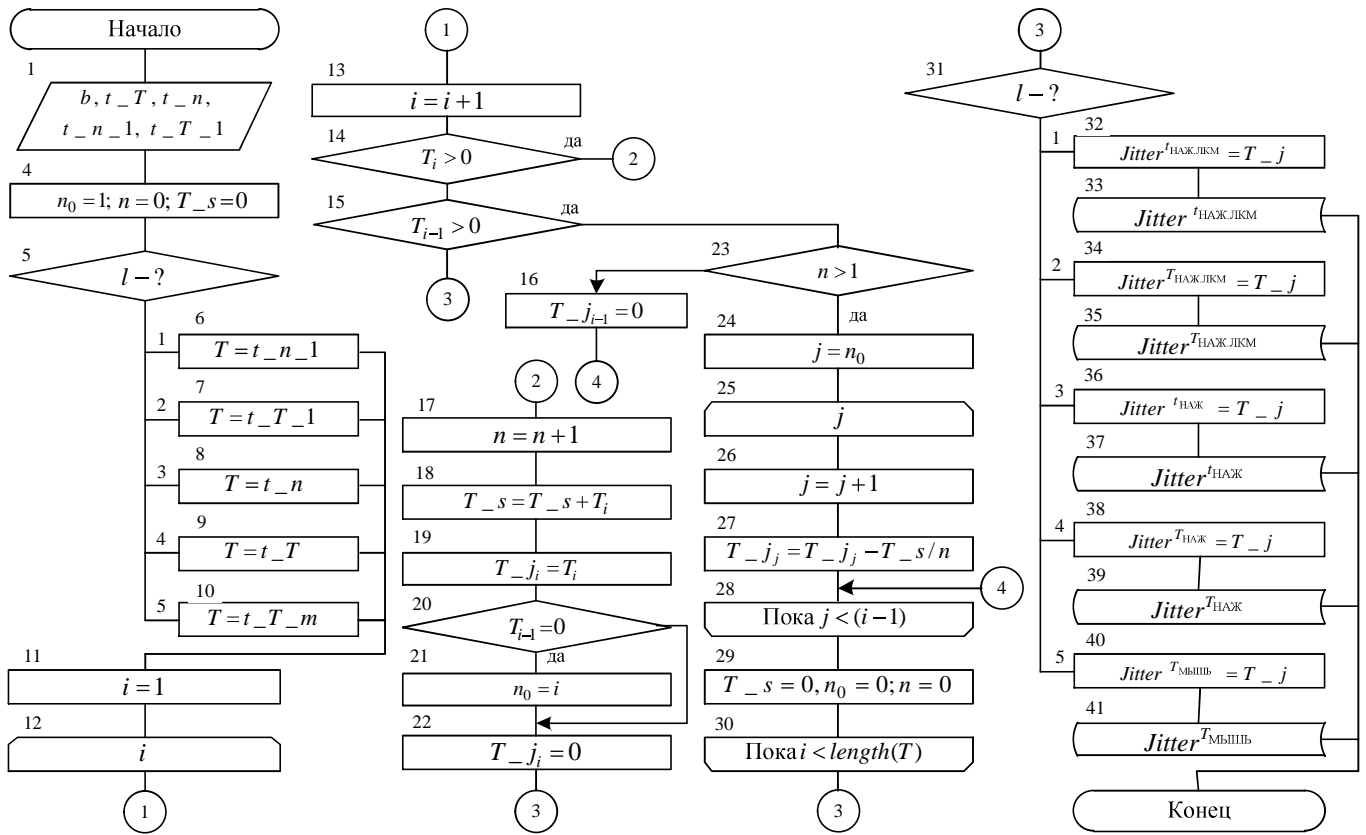


Рисунок 5 – Алгоритм формирования джиттера сигналов текстового канала ММВИ АРМ

Расчет значений джиттера $Jitter^{(l)}$ для речевых сигналов 17 человек (длительность 104 минуты) и сигналов клавиатуры и «мыши», зарегистрированных от 26 испытуемых (длительность 183 минуты), находящихся в различных ПФС (состояние искусственно изменялось под влиянием физических и психологических нагрузок), позволило экспериментально получить их распределения. Оценивание степени близости теоретических распределений к эмпирическим по критерию А. Н. Колмогорова позволило принять при критическом уровне значимости $\alpha = 0,01$ гипотезы о нормальности распределения указанных величин. Результаты статистического анализа этих величин отдельно для каждого испытуемого указали на их непараметрический характер и необходимость дальнейшего анализа.

В третьей главе предложена методика определения интегральных характеристик джиттера, позволяющая установить отклонение ПФС оператора от нормы (рис. 6).

В соответствии с ней формируется общий джиттер (Total Jitter – TJ) доступных сигналов текстового и/или речевого каналов ММВИ

$$TJ = \left[Jitter^{T_{\text{от}}}, Jitter^{t_{\text{НАЖ}}}, Jitter^{T_{\text{НАЖ}}}, Jitter^{t_{\text{НАЖЛКМ}}}, Jitter^{T_{\text{НАЖЛКМ}}}, Jitter^{T_{\text{МЫШЬ}}} \right] \quad (7)$$

на основе разработанных и представленных выше алгоритмов (рис. 2–5). Далее из общего джиттера $Jitter^{t_{\text{НАЖ}}}$ и $Jitter^{T_{\text{НАЖ}}}$ известными способами устраняются компоненты DDJ , зависящие от данных – межсимвольная интерференция ISI и искажение коэффициента заполнения импульсной последовательности DCD .

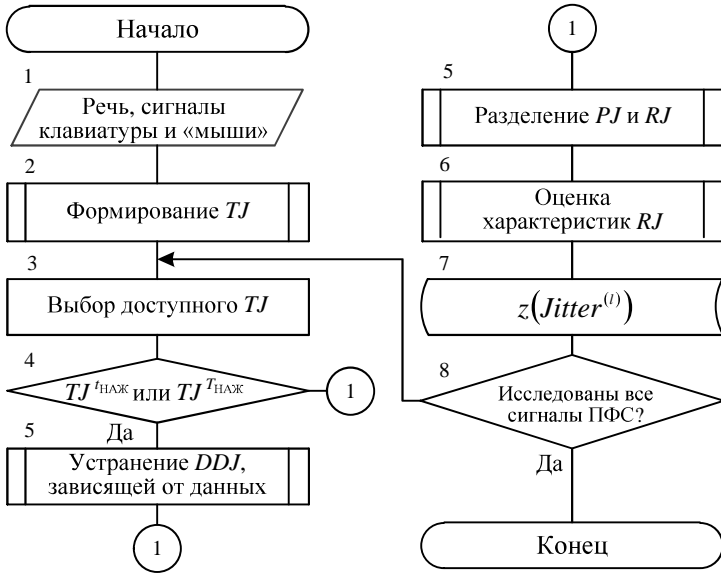


Рисунок 6 – Методика определения интегральных характеристик джиттера

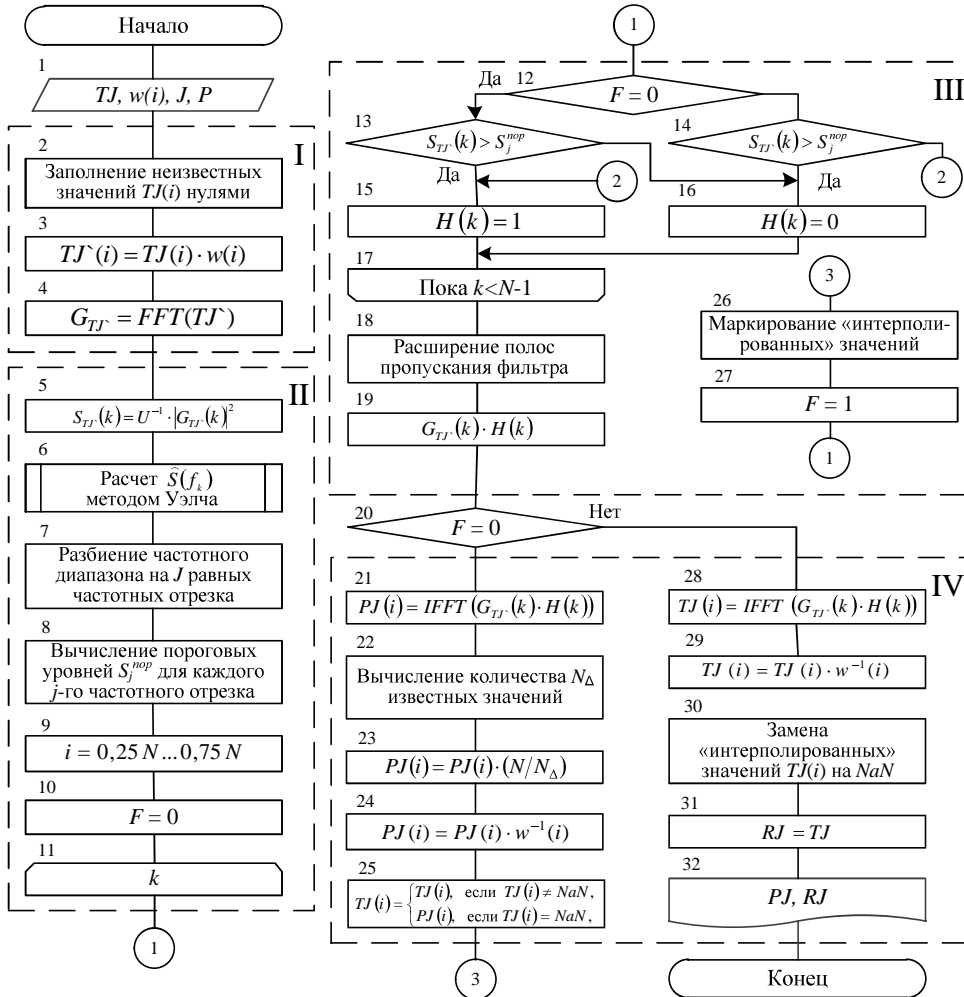


Рисунок 7 – Алгоритм разделения периодического и случайного джиттера

Для устранения недостатка существующих способов разделения периодического PJ и случайного RJ джиттера (интерполяции неизвестных значений джиттера по ближайшим известным) предложен алгоритм (рис. 7), состоящий из следующих этапов.

I. Переход из временной в частотную область анализа путем заполнения неизвестных значений джиттера нулями, ее взвешивания окном $w(i)$, и выполнения операции ДПФ.

II. Определение методом Уэлча (P – число усредняемых сегментов; J – количество отрезков, на которые делится частотный диапазон сигнала)

пиковых значений амплитудного спектра последовательности значений джиттера, соответствующих периодическому джиттеру.

III. Формирование частотной характеристики фильтра и фильтрация с помощью ДПФ для выделения периодической (случайной) компоненты джиттера.

IV. Переход из частотной во временную область путем выполнения обратного ДПФ от спектра, содержащего только периодические (случайные) составляющие, и умножения сигнала на обратную оконную функцию.

Зависимости полученных частот периодических составляющих PJ от времени имеют сложный характер, обусловленный влиянием интонационного рисунка произ-

носимых фраз и характером колебаний голосовых связок (для $PJ^{T_{\text{OT}}}$); паразитной модуляцией сигнала клавиатуры («мыши») гармониками питающего напряжения (для $PJ^{t_{\text{НАЖ}}}$, $PJ^{T_{\text{НАЖ}}}$, $PJ^{t_{\text{НАЖЛКМ}}}$, $PJ^{T_{\text{НАЖЛКМ}}}$) и возвратными движениями «мыши» при достижении границ рабочей области (экрана) (для $PJ^{T_{\text{МЫШЬ}}}$). Поэтому для определения интегральных характеристик $z(\text{Jitter}^{(l)})$ в проведенном исследовании предложено использовать только случайные компоненты джиттера сигналов ПФС оператора АРМ.

В результате экспериментальных исследований установлено, что случайный джиттер $RJ^{T_{\text{OT}}}$, $RJ^{t_{\text{НАЖ}}}$, $RJ^{T_{\text{НАЖ}}}$, $RJ^{t_{\text{НАЖЛКМ}}}$, $RJ^{T_{\text{НАЖЛКМ}}}$, $RJ^{T_{\text{МЫШЬ}}}$ имеет нормальное распределение, а его интегральной характеристикой является:

$$z(\text{Jitter}^{(l)}) = 100 \left(\frac{\bar{R} : |RJ^{(l)}| > Thr^{(l)}}{R} \right) [\%], \quad (8)$$

где \bar{R} – число кадров анализируемого сигнала (рис. 8), на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает пороговое значение $Thr^{(l)}$ (получен экспериментально для каждого $RJ^{(l)}$); R – число кадров, на которых определен $RJ^{(l)}$.

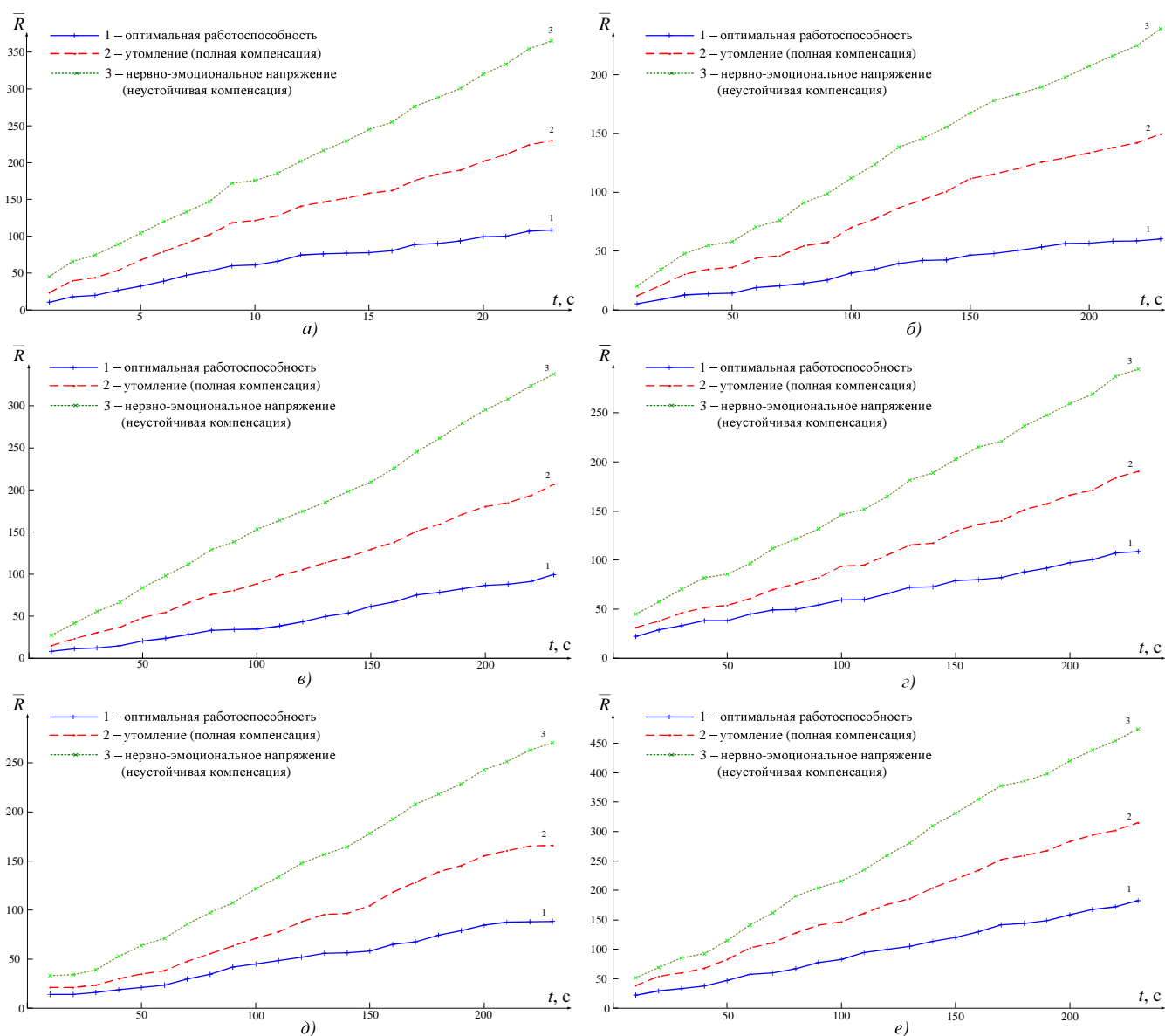
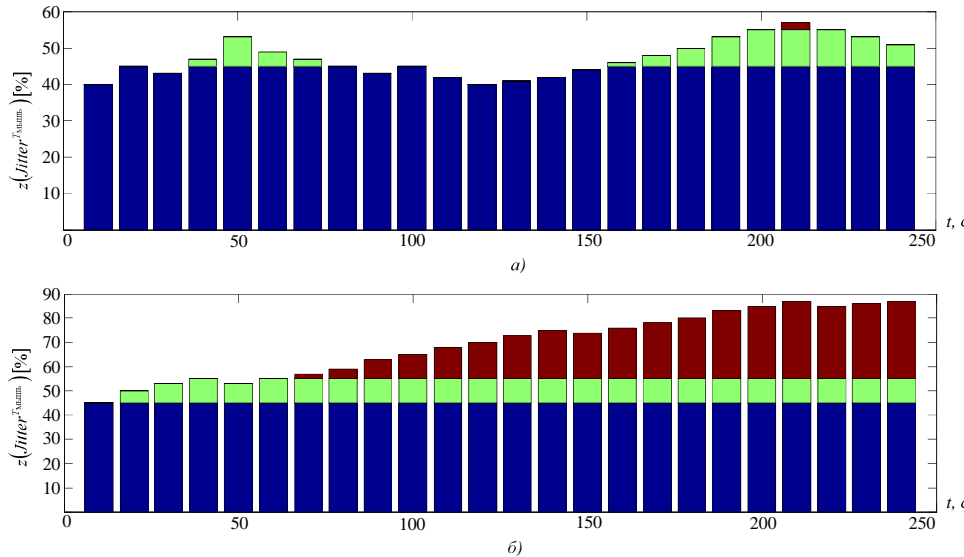


Рисунок 8 – Изменение \bar{R} во времени для:

а – $RJ^{T_{\text{OT}}}$; б – $RJ^{t_{\text{НАЖ}}}$; в – $RJ^{T_{\text{НАЖ}}}$; г – $RJ^{t_{\text{НАЖЛКМ}}}$; д – $RJ^{T_{\text{НАЖЛКМ}}}$; е – $RJ^{T_{\text{МЫШЬ}}}$

Анализ представленных зависимостей (рис. 8) показал, что наименьшей производной 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 $RJ^{(l)}$. Результаты оценки $z(Jitter^{T_{\text{мышь}}})$



методом скользящего среднего (длительность окна анализа 10 с) при оптимальной работоспособности оператора (рис. 9, а) и для оператора, находящегося в состоянии нервно-эмоционального напряжения (рис. 9, б), свидетельствуют об адекватности модели ПФС оператора (4)–(6) на основе интегральных характеристик (8).

Рисунок 9 – Оценки $z(Jitter^{T_{\text{мышь}}})$ методом скользящего среднего

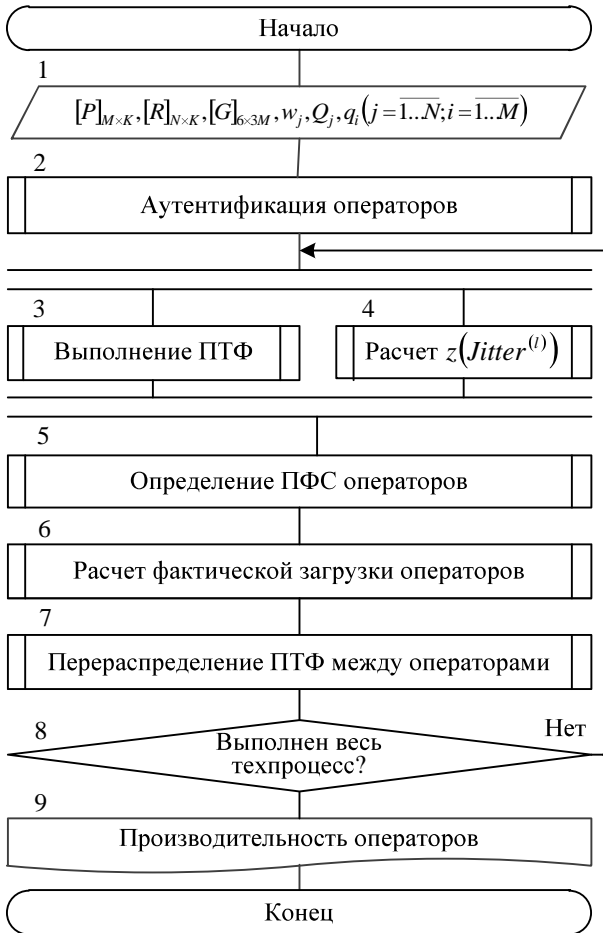


Рисунок 10 – Методика распределения ПТФ между операторами АРМ

В четвертой главе предложены методика распределения ПТФ между операторами АРМ ПДС и реализующий ее программно-аппаратный комплекс (ПАК).

Исходными данными для реализации методики являются показатели значимости w_j и трудоемкости Q_j выполнения j -й функции, трудовой ресурс q_i i -го оператора, матрицы $[P]_{M \times K}$, $[R]_{N \times K}$ и $[G]_{6 \times 3M}$, последняя образуется путем конкатенации M профилей ПФС операторов:

$$[G] = \begin{bmatrix} Thr^{RJ^{TOT}} & z_{\max}^{RJ^{TOT}} & z_{\min}^{RJ^{TOT}} \\ Thr^{RJ^{HAЖ}} & z_{\max}^{RJ^{HAЖ}} & z_{\min}^{RJ^{HAЖ}} \\ Thr^{RJ^{HAЖ}} & z_{\max}^{RJ^{HAЖ}} & z_{\min}^{RJ^{HAЖ}} \\ Thr^{RJ^{HAЖKM}} & z_{\max}^{RJ^{HAЖKM}} & z_{\min}^{RJ^{HAЖKM}} \\ Thr^{RJ^{HAЖKM}} & z_{\max}^{RJ^{HAЖKM}} & z_{\min}^{RJ^{HAЖKM}} \\ Thr^{RJ^{T_{\text{мышь}}}} & z_{\max}^{RJ^{T_{\text{мышь}}}} & z_{\min}^{RJ^{T_{\text{мышь}}}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Установлено, что нижняя граница $z_{\min}^{(l)}$ равна значению среднего арифметического величины $z(Jitter^{(l)})$, а верхняя $z_{\max}^{(l)}$ – суммарному значению $z_{\min}^{(l)}$ и среднеквадратического отклонения величины $z(Jitter^{(l)})$.

Расчет интегральных характеристик $z(Jitter^{(i)})$ в процессе выполнения операторами ПТФ основан на предложенной методике определения интегральных характеристик джиттера (рис. 6), а определение ПФС оператора – на разработанной модели (4)–(6). Пример использования последней для оценки изменяющегося ПФС трех операторов, работающих только: с использованием «мыши» – f_1 , клавиатуры – f_5 и в режиме коммуникативного взаимодействия – f_7 (при оптимальной работоспособности еще 7 операторов) показан на верхних графиках (рис.11).

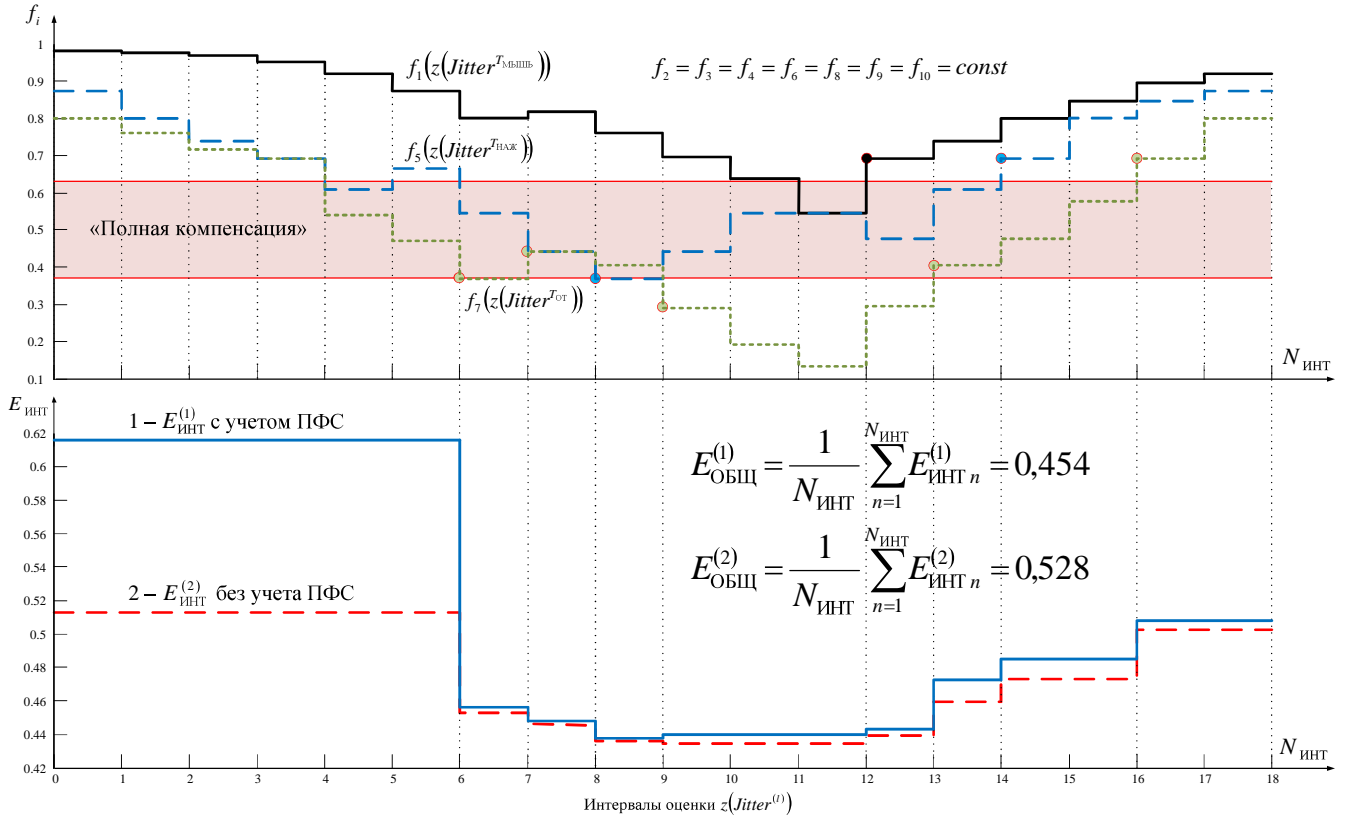


Рисунок 11 – Эффективность распределения ПТФ между операторами

После расчета фактической загрузки операторов путем решения задачи (1) симплекс-методом происходит перераспределение ПТФ между ними:

$$q_i^{ФАКТ} = \sum_{j=1}^N x_{ij} Q_j, \tag{10}$$

временное исключение из производственно-технологического процесса операторов, у которых наблюдается прогрессивное снижение работоспособности (рис. 1).

Повышение производительности операторов определяется превышением кривой 1 (рис. 11), соответствующей значениям показателя эффективности (1) с учетом ПФС f_i операторов на интервалах оценки $z(Jitter^{(i)})$, над кривой 2, рассчитанной без учета ПФС. При этом эффективность распределения ПТФ между операторами в течение смены (18 интервалов оценки ПФС) в рассматриваемом примере повышается на 7,4 %.

На основе полученных данных сделан вывод, что динамическое распределение функций на основе разработанного критерия (1) является адекватным задаче распределения ПТФ между операторами АРМ с учетом их ПФС, а предложенная методика (рис. 10) позволяет автоматизировать процесс такого распределения.

Для ее реализации в работе предложен соответствующий ПАК (рис. 12).

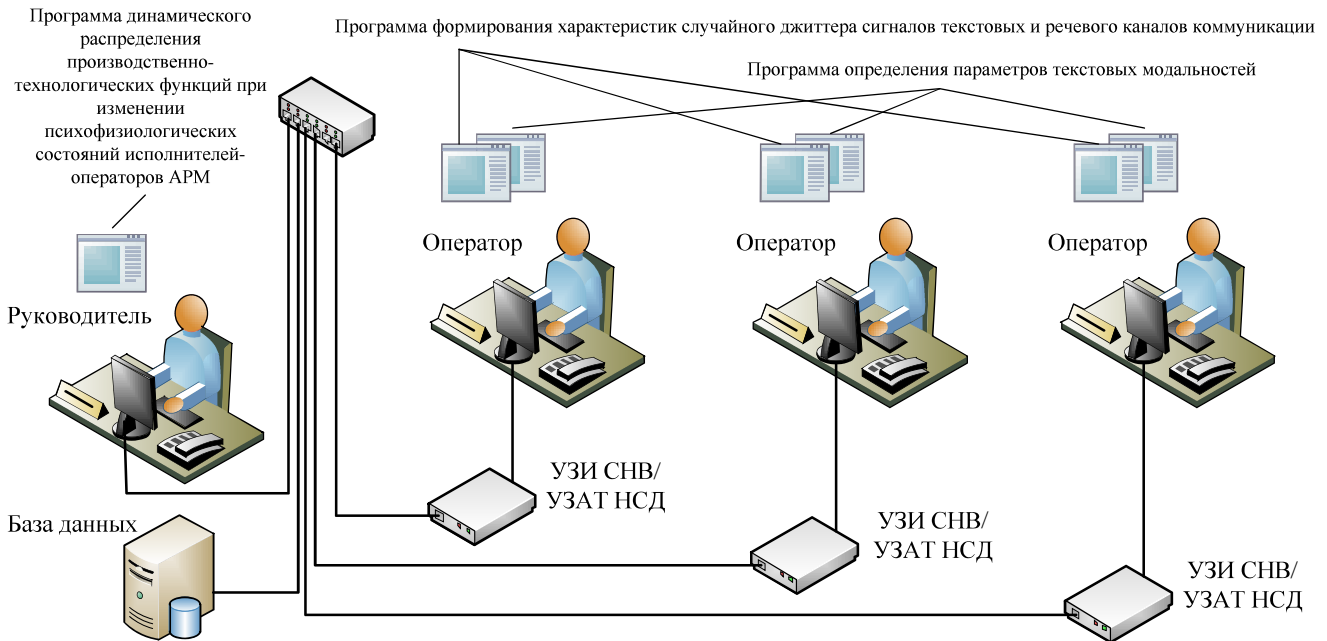


Рисунок 12 – Функциональная схема ПАК распределения ПТФ между операторами АРМ

Этапы 2 и 4 методики распределения ПТФ между операторами АРМ (рис. 10) реализуются на АРМ ПДС программными средствами, разработанными согласно предложенным алгоритмам (рис. 2–5), а этапы 5–7 – на АРМ руководителя (лица принимающего решение). Согласно его решению осуществляется ограничение функций программных средств, реализующих ПТФ, вплоть до полного их закрытия.

Наряду с программными средствами возможна аутентификация операторов (рис. 10) с помощью запатентованного устройства защиты абонентского терминала от несанкционированного доступа (УЗАТ НСД) и исключение операторов из производственно-технологического процесса с помощью устройства защиты информации от субъективных непреднамеренных воздействий (УЗИ СНВ).

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена актуальная задача автоматизации распределения производственно-технологических функций между операторами АРМ производственно-диспетчерских служб газодобывающих и газотранспортных предприятий в условиях изменения их психофизиологического состояния.

На основании проведенного исследования сформулированы следующие выводы.

1. Существующие интегрированные (MES-SCADA-ERP) АСУ газодобывающих и газотранспортных предприятий предъявляют повышенные требования 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 многомодального 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 «мыши», а также джиттер сигнала ее перемещения.

4. Результаты статистического анализа джиттера сигналов многомодального 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.

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих опубликованных работах

Рецензируемые научные издания из перечня Министерства образования и науки РФ

1. **Носов, М.В.** Исследование характеристик джиттера периода основного тона речевого сигнала [Текст] / М.В. Носов, О.О. Басов, В.А. Шалагинов // Труды СПИИРАН, 2014. – Вып. 1 (32). – С. 27–44 (доля участия автора – 50%).

2. **Носов, М.В.** Методика разделения джиттера сигналов различных каналов взаимодействия технических средств и оператора АРМ [Текст] / М.В. Носов // Информационные системы и технологии, 2014. – № 3(83). – С. 63–72.

3. **Носов, М.В.** Повышение эффективности управления в условиях изменения психофизиологического состояния персонала [Текст] / М.В. Носов, О.О. Басов, П.Ю. Хахамов // Труды СПИИРАН, 2014. – Вып. 3 (34). – С. 112-135 (доля участия автора – 50%).

Прочие издания

4. **Носов, М.В.** Кибернетическая модель автоматизированной системы управления в условиях изменения физиологического и психоэмоционального состояния оператора [Текст] / М.В. Носов, С.П. Богданов, О.О. Басов // Материалы X Международной научно-практической конференции «Научная мысль информационного века – 2014». Выпуск 31. Технические науки: Przemysl. Nauka i studia. – 72 с. – С. 48–49 (доля участия автора – 50%).

5. **Носов, М.В.** Критерий эффективности управления человеческими ресурсами [Текст] / М.В. Носов, О.О. Басов // Сборник материалов VII-Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014». В 2 частях. Ч.2. – С. 84–88 (доля участия автора – 70%).

6. **Носов, М.В.** Оценивание психофизиологического состояния человека по сигналам различных каналов взаимодействия с техническими средствами автоматизированных рабочих мест [Текст] / М.В. Носов, О.О. Басов, С.П. Богданов // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Современные инновации в науке и технике» (17 апреля 2014 года)/ редкол.: Горохов А.А. (отв.ред); В 4-х томах, Том 3., Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. – 350 с. – С.226–229 (доля участия автора – 70%).

7. **Носов, М.В.** Математические модели и алгоритмы формирования джиттера сигналов текстового канала взаимодействия технических средств и оператора АРМ [Текст] / 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. – Режим доступа: http://youconf.ru/files/itnop2014/Носов_Васечкин_Басов.pdf (доля участия автора – 50%).

Патентные материалы

8. Положительное решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2014111684 от 26.03.2014. МПК Н04М 3/42. Устройство защиты абонентского терминала от несанкционированного доступа к линии связи [Текст] / В.В. Никитин, М.В. Носов, Ю.Б. Иванов, О.О. Басов: заявитель и патентообладатель Академия ФСО России (доля участия автора – 25%).

9. Положительное решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2014111685 от 26.03.2014. МПК Н04М 3/42. Устройство защиты информации от субъективных непреднамеренных воздействий [Текст] / М.В. Носов, В.В. Никитин, Ю.Б. Иванов, О.О. Басов: заявитель и патентообладатель Академия ФСО России (доля участия автора – 25%).

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613478 от 27.03.2014. Программа определения параметров текстовых модальностей / О.О. Басов, М.В. Носов, В.В. Никитин, Д.А. Гуляйкин (доля участия автора – 25%).

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615750 от 02.06.2014. Программа формирования характеристик случайного джиттера сигналов текстовых и речевого каналов коммуникации / О.О. Басов, М.В. Носов, В.В. Никитин, Д.А. Гуляйкин (доля участия автора – 25%).

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616058 от 10.06.2014. Программа динамического распределения производственно-технологических функций при изменении психофизиологических состояний исполнителей-операторов АРМ / О.О. Басов, М.В. Носов, П.А. Сысоев, Д.А. Гуляйкин (доля участия автора – 25%).